

Айзек АЗИМОВ



ПУТЕВОДИТЕЛЬ ПО НАУКЕ

ОТ ЕГИПЕТСКИХ ПИРАМИД ДО КОСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ



Ц Е Н Т Р П О Л И Г Р А Ф

Айзек АЗИМОВ

ПУТЕВОДИТЕЛЬ
ПО НАУКЕ

Isaac ASIMOV

ASIMOV'S GUIDE
TO SCIENCE

Айзек АЗИМОВ

ПУТЕВОДИТЕЛЬ ПО НАУКЕ

ОТ ЕГИПЕТСКИХ ПИРАМИД ДО КОСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ



Москва
ЦЕНТРОЛИГРАФ
2006

Охраняется Законом РФ об авторском праве.
Воспроизведение всей книги или любой ее части
воспрещается без письменного разрешения издателя.
Любые попытки нарушения закона
будут преследоваться в судебном порядке.

Оформление художника И.А. Озерова

Азимов Айзек

А35 Путеводитель по науке. От египетских пирамид до космических станций / Пер. с англ. — М.: ЗАО Центрполиграф, 2006. — 788 с.

ISBN 5-9524-1191-6

В этой книге знаменитый писатель-фантаст и популяризатор науки рассказывает о великих изобретениях и открытиях ученых. Вы узнаете, как развивалась наука на протяжении всей истории человечества. Как был изобретен маятник и что такое цепная реакция. И как люди, используя накопленные знания, создали магнитную ленту, фотографию, транзистор и, наконец, водородную бомбу.

ББК 72.3

© Перевод,
ЗАО «Центрполиграф», 2006
© Художественное оформление,
ЗАО «Центрполиграф», 2006

ISBN 5-9524-1191-6

ПУТЕВОДИТЕЛЬ ПО НАУКЕ

ОТ ЕГИПЕТСКИХ ПИРАМИД ДО КОСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

Часть первая **ФИЗИЧЕСКИЕ НАУКИ**

Глава 1 **ЧТО ТАКОЕ НАУКА?**

Все начинается с любопытства.

Любопытство, непреодолимая тяга к познанию, не присущие мертвой материи. Оно также несвойственно и некоторым формам живого организма. Дерево, где бы мы его ни встретили, не проявляет любопытства относительно окружающей его среды. Также любопытства не проявляет губка или устрица — ветер, дождь и морские течения приносят им все, что необходимо для существования. Если же провидение насылает на них огонь, яд, хищников или паразитов, они умирают так же стоически, как жили.

Постепенно некоторые организмы значительно продвинулись в контроле над окружающей средой. Способный двигаться организм не должен был бесстрастно дожидаться пищи.

Это означало, что в мир проникло приключение и любопытство. Индивидуум, который колебался, решая, следует ли начинать охоту за пищей, и был чрезмерно консервативен в исследованиях, — голодал.

У одноклеточной простейшей не может быть сознательной воли и чувственных желаний, присущих нам, при этом она вырабатывает отнюдь немалое количество энергии, пусть всего лишь позволяющей исследовать окружающую среду в поисках пищи. И это проявление любопытства, неотделимое от жизни, очень близко нам.

Постепенно организмы становились сложными, их органы чувств, совершенствуясь, сделались более тонкими. Наряду с этим усложнилась нервная система.

Отсюда следует, что способность получать, хранить и объяснять сообщения из внешнего мира может опережать насущную в них потребность. Организм в какое-то мгновение может перенасытиться пищей и не испытывать опасности. Что тогда делать дальше?

Устрица, например, могла бы впасть в оцепенение. Но высшие организмы демонстрируют сильный инстинкт к исследованию окружающей среды. Пустое любопытство — можем мы сказать. Но сколько бы ни глумились над этим, определяем интеллект любо-

пытством. Собаки в моменты досуга будут лениво сопеть, настаиваясь звуками, которые мы не способны услышать, поэтому мы считаем их более разумными, чем кошки, которые в моменты досуга ухаживают за собой или, роскошно вытянувшись, засыпают. Чем более развит ум, тем больший стимул дает он для изучения, и тем больше мы любопытствуем. Обезьяна — символ любопытства. Ее маленький мозг всегда чем-либо занят. И в этом отношении, как и во многих других, человек — всего лишь супер-обезьяна.

Человеческий мозг — самая уникальная живая материя в познанном мире, и ее способность получать, систематизировать и хранить данные в объеме, значительно превышающем жизненные потребности, удивительна. Подсчитано, что на протяжении жизни человек может осознать до 15 триллионов информационных сообщений.

Именно благодаря этому излишку мыслительной способности мы страдаем такой мучительной болезнью, как скука. Когда человек попадает в ситуацию, при которой у него нет возможности использовать свой ум на что-либо большее, чем минимальное выживание, он постепенно начинает испытывать неприятные симптомы, вплоть до серьезных умственных расстройств.

И это означает, что у здравомыслящего человека есть сильное и непреодолимое любопытство. Если он лишен возможности удовлетворить любопытство в тот момент, когда это действительно ему необходимо, то в конце концов найдет способ сделать это — пусть даже прискорбным способом, к которому мы относимся с предостережением. Помните: «Любопытство убило кота».

Могучая сила любопытства, порой использованного во вред, отражена в мифах и легендах человечества. У греков существует легенда о Пандоре и ее сосуде. Пандора была первой женщиной. Она получила сосуд, который ей было запрещено открывать. Прогноировав запрет, она открыла крышку и обнаружила, что сосуд полон несчастий, болезней, ненависти и всех людских пороков, которые тут же распространились по миру людей.

Библейская история искушения Евы достаточно ясно (для меня, во всяком случае) говорит о том, что у змея была наилегчайшая работа. Он, должно быть, сэкономил слова соблазна: любопытство заставило Еву попробовать запретный плод. Если вам под силу понять Библию аллегорически, можете отождествить змея с внутренним принуждением. На картине, где Ева стоит под деревом с запретным плодом в руке, змея, обвившаяся вокруг ветви, и есть то самое любопытство.

Любопытство, как и любая другая человеческая потребность, может быть бесчестно использована. Вторжение в чужие тайны придало слову «любопытство» его дешевое и неприятное значение. Тем не менее оно по-прежнему олицетворяет одно из самых прекрасных свойств человеческого разума — желание знать.

Это желание впервые проявилось в попытках найти ответы на вопросы, связанные с практическими житейскими потребностями человека: как сеять и перерабатывать урожай, как придать нужную форму ядрам и стрелам, как ткать одежду? Но когда эти навыки были освоены и практические потребности осуществлены, люди задумались: а что дальше? Жажда познания побудила к более сложным видам деятельности.

Ясно, что изящные искусства, предназначенные для того, чтобы удовлетворить духовные потребности, были рождены в агонии скуки. Безусловно, кто-то может легко найти более приземленные объяснения изящного искусства. Например, картины и статуэтки — не одно лишь изобилие очарования, но и религиозные символы. Однако вряд ли кто-то возразит, что предмет сначала рождается, а затем используется.

Сказать, что изящные искусства возникли ради удовлетворения чувств прекрасного, значит взглянуть на проблему не с того конца. Стремление при совершенствовании к красоте любого вида деятельности последует неизбежно. Но даже если этого не случилось бы, высокое искусство все равно возникло.

Не только производство предметов изящного искусства приятно занимает мысли. Изучение или оценка работы оказывает подобную же услугу аудитории. Великое произведение искусства поистине прекрасно, потому что вызывает восторг, который не без труда можно испытать иным способом.

Но если увлечение изящным искусством позволяет занять досуг, то оно порождает такое неудобство, как потребность не только в активном, творческом уме, но и в хорошей физической подготовке. А ведь как заманчиво предаться игре ума, использовать только ум без всяких физических способностей! И конечно же такая деятельность полезна. Это стремление к знаниям вовсе не имеет целью использовать их с какими-либо практическими результатами, а для его собственной пользы.

Таким образом, желание знать ведет к легкому и эффективно овладению умом — от приобретения знаний полезных к достижению знаний эстетических, к «чистым» знаниям.

В процессе познания человек ищет ответы на такие вопросы, как «Высоко ли небо? Почему падает камень?». Это — явное любопытство, бесполезное и, возможно, наиболее сильное. В конце концов, какая нам разница, насколько высоко небо или почему падает камень. Высокое, как и низкое, небо не вредит нашей обыденной жизни, а что касается камня, то знание причины, по которой он падает, не поможет нам избежать удара или смягчить удар, который способен доставить нам боль. Однако всегда найдутся люди, которые задают такие глупые вопросы и пытаются ответить на них без всякой явной необходимости заставлять работать свой мозг.

Очевидный способ решить подобные задачи — дать эстетически удовлетворяющий ответ, проведя аналогии с тем, что уже по-

нятно и правдоподобно. Выражение «выдумать» лишено романтизма. Древним народам нравилось считать процесс открытия вдохновением муз или откровением небес. В любом случае было ли это вдохновением, откровением или чем-то вроде творческого мышления, их объяснения в значительной мере зависели от аналогии. Удар молнии вселяет ужас и несет разрушение, подобное тому, которое достигается оружием, и это — фантастически ужасная сила. У такого оружия обязательно должен быть управляющий, причем соответствующего масштаба. Таким образом, удар молнии совершается с помощью молотка Тора или сверкающего копья Зевса. Всем остальным земным оружием владеет человек.

Так был рожден миф. Силы природы олицетворены и становятся божественными. Легенды переплетаются друг с другом, изменяются и совершенствуются поколениями мифотворцев до тех пор, пока оригинальные версии не утрачиваются. Некоторые мифы постепенно упростились до хороших историй, тогда как другие получили этическое содержание, став значительными в рамках религии.

Как искусство может быть изящным или конкретным, так и мифология. Мифы могут быть сохранены из-за их эстетического очарования или приспособлены к использованию человечеством. Например, в древние времена фермеры были весьма обеспокоены проблемой непостоянства дождя. Животворный дождь льется с неба на землю, представляя очевидную аналогию сексуального акта, являясь воплощением и неба и земли. Поэтому человек нашел простое объяснение непостоянству или продолжительному отсутствию дождей. Земная богиня или бог неба в зависимости от событий дня были либо довольны, либо оскорблены. Как только нашлось объяснение причин, фермеры придумали средства умиловить богов. Изобрели соответствующие обряды.

Греческие мифы — наипрелестнейшие и наиболее утонченные произведения нашей литературы. Мифотворцы наделяли богов сверхчеловеческой силой, — но в своей непредсказуемости Зевс, Дионис и Гера оставались простыми людьми — легкомысленными, капризными, эмоциональными, способными вспылить по пустякам. Пока Вселенная оставалась под контролем таких безответственных и непредсказуемых божеств, не существовало ни малейшей надежды на взаимопонимание. Но в новом представлении греческих мыслителей более поздних поколений Вселенная стала машиной, управляемой непреклонными законами. Греческие философы посвятили себя захватывающему интеллектуальному труду, пытаясь узнать, что же представляют собой законы природы.

Первый, кто преуспел на этом поприще, согласно греческой традиции, был Фалес Милетский, живший приблизительно в 600 году до нашей эры, с чьим именем связывают почти невозможное число открытий поздние греческие писатели. Возможно, он

первый принес собранные вавилонянами знания в греческий мир. Его наиболее захватывающее достижение — предсказание затмения 585 года до нашей эры, которое действительно случилось.

Пускаясь в интеллектуальные изыскания, греки предполагали, что природа будет справедлива и при корректном вмешательстве откроет свои тайны, не изменив существующего положения вещей. Они были преисполнены ощущением, что найденные природные законы будут постижимы. Этот греческий оптимизм никогда не покидал человечество.

Доверяя справедливой игре природы, исследователь нуждался в регулярной системе, с тем чтобы вывести из изученных фактов основные законы. Прогрессировать, переходя от одного пункта к другому в рамках установленных правил дискуссии, означает использовать причинно-следственные связи. Разумный человек, ведя исследование, может прибегать к интуиции для получения ответов, но он должен быть уверен в правильности логики, проверяя свои теории. Возьмем простой пример: бренди и вода, виски и вода, водка и вода, ром и вода — все это опьяняющие напитки. Кто-то может сделать поспешное заключение, что опьяняющий фактор должен быть свойством этих напитков, содержащих воду. Рассуждение неверно, ошибка в логике пусть и не сразу, но обнаруживается. Но в более запутанных случаях ошибку заметить куда труднее.

Обнаружение ошибок и проследживание неверных идей в рассуждениях забавляло мыслителей с греческих времен до наших дней. И конечно же мы обязаны наираннейшими основами логики Аристотелю из Стагир, который в IV столетии до нашей эры первым предложил правила точного рассуждения.

Существует три основы интеллектуальной игры человека против природы. Во-первых, вы должны собрать наблюдения относительно нескольких аспектов природы. Во-вторых, должны систематически выстроить эти наблюдения — так ими легче оперировать. Например, в карточной игре, когда игроки договариваются о мастях и о порядке ставок, это не влияет на ход игры, но позволяет легче достичь логики. В-третьих, вы должны вывести из ваших систематизированных наблюдений некоторых принципов. Например, мы можем наблюдать, что мрамор погружается в воду, а дерево держится на поверхности, железо тонет в воде, а перо плавает на поверхности, ртуть погружается в воду, а оливковое масло держится на поверхности и т. д. Если мы сведем все тонущие предметы в один список, а в другой запишем все плавающие и взглянем на характерную черту, отличающую предметы одной группы от предметов другой, то сделаем заключение, что тяжелые предметы тонут в воде, а легкие держатся на поверхности.

Греки называли свой метод излучения философией — «любовью мудрости» или, другими словами, «желанием знать».

Наиболее блестящих успехов они достигли в геометрии. В основе их лежали два метода — суммирование и обобщение.

Приведем пример. Египетские землемеры нашли практический способ создать прямой угол. Они разделили веревку на двенадцать равных частей и сложили в виде треугольника, в котором три части сформировали одну сторону, четыре части вторую и пять частей третью сторону. Прямой угол оказался там, где трехъединичная сторона присоединяется к четырехъединичной. Не существует ни одной записи, как египтяне открыли этот метод, и, очевидно, их интерес не зашел дальше, чем практическое его использование. Но любопытные греки продолжали искать причину, по которой треугольник содержит прямой угол. В ходе анализа они поняли, что само физическое построение было случайным, не важно, был ли треугольник сложен из веревки, полотна или деревянных досочек. Все заключалось в свойствах прямых линий, встречающихся под углами. Представляя идеальные прямые линии, независимые от любой физической конкретизации и существующие только в воображении, они создали метод, называемый абстрактным, — отмечая несущественные и рассматривая только свойства, необходимые для решения проблемы.

Греческие геометры пошли дальше, отыскивая общие решения групп проблем, вместо того чтобы рассматривать проблемы индивидуально. Например, они на опыте обнаружили, что прямой угол появился в треугольниках не только со сторонами длиной 3, 4 и 5 единиц, но также и с длиной 5, 12 и 13 и 7, 24 и 25. Но это были просто числа без всякого значения. Могут ли несколько найденных общих свойств описать все прямоугольники? Тщательным рассуждением греки показали, что треугольник будет правильным, только если длина всех сторон соответствовала отношению $x^2 + y^2 = z^2$, где z — самая длинная сторона. Прямой угол лежит там, где стороны длиной x и y соединяются. Таким образом, для треугольника со сторонами 3, 4 и 5 единиц возведем в квадрат длины сторон, получаем $9 + 16 = 25$; так же возведем в квадрат длины сторон 5, 12 и 13, получаем $25 + 144 = 169$; и возведем в квадрат 7, 24 и 25, получаем $49 + 576 = 625$. Это всего три случая из бесконечной череды возможных примеров. Греков заинтересовало открытие доказательства, что отношение должно соблюдаться во всех случаях.

Многие греческие математики способствовали изучению пропорций. Пифагор из Самоса первый, приблизительно в 525 году, вывел зависимость между возведенными в степень сторонами прямоугольного треугольника. В его честь этому исследованию дали название Пифагорова теорема.

Приблизительно в 300 году до нашей эры Евклид собрал математические теоремы, известные в его время, и расположил их так, что каждая могла быть доказана с помощью доказанных ра-

нее. Конечно, эта система в конечном счете приводила к чему-то недоказуемому. Если каждая теорема должна была быть доказана с помощью одной, уже доказанной, тогда как можно доказать самую первую теорему?

Для начала нужно было утвердить правдивость очевидных и приемлемых для всех теорем, не нуждающихся в доказательстве. Такое утверждение называли аксиомой. Евклид сумел свести аксиомы к нескольким простым определениям. Из этих аксиом он создал сложную и величественную систему, получившую название евклидова геометрия. Никогда не было создано так много практически из ничего, и наградой Евклиду стало то, что его учебник используют с незначительными изменениями более 2000 лет.

Греки были влюблены в заманчивую игру под названием «дедукция» и, увлекшись, совершили две серьезные ошибки.

Они сочли дедукцию наиболее приемлемым средством достижения знаний, хотя и были достаточно осведомлены, что в некоторых случаях ее будет недостаточно; например, расстояние от Афин до Коринфа нельзя определить с помощью абстрактных принципов, это расстояние следовало измерить. Греки присматривались к природе, когда это было необходимо, тем не менее всегда стыдились этой необходимости и считали, что высший тип знания тот, что достигнут работой мозга. Они были склонны недооценивать знания, которые касались повседневной жизни. Существует история о том, как ученик Платона, слушавший математические указания учителя, нетерпеливо спросил: «Но какая польза от всего этого?» Глубоко оскорбленный Платон позвал раба и приказал ему дать студенту монету. «Сейчас, — сказал он, — ты не должен чувствовать, что наши указания совершенно беспцельны». С этими словами ученик был исключен.

Я склоняюсь к мнению, что греки считали философию развлечением, интеллектуальной игрой и готовы были поставить любителя таких развлечений выше профессионала, который зарабатывает этим средства на жизнь. Греческий «культ бесполезности», возможно, также основывался на чувстве, которое не позволяло земным знаниям (расстояние от Афин до Коринфа) вторгнуться в абстрактное мышление, что означало позволить несовершенству проникнуть в высшие сферы настоящей философии. Греческие мыслители были строго ограничены рамками подобного подхода. Даже великий инженер Архимед из Сиракуз отказался писать о своих практических изобретениях и открытиях; поддерживая любительский статус, он распространил только свои достижения в теоретической математике. Итак, недостаток интереса к таким земным вещам, как изобретение, эксперимент, изучение природы, имел место, но был всего лишь одним из факторов, которые ограничивали мысли греков. Сосредоточенность греков на абстрактном и формальном изучении — действительно большой успех в геометрии — привела их ко второй большой ошибке и в конечном счете завела в тупик.

Греки возвели аксиомы в ранг «абсолютной истины» и предположили, что другие отрасли знания могли быть развиты от подобной «абсолютной истины». Таким образом, в астрономии они в конечном счете приняли как самоочевидные аксиомы следующие понятия: 1) Земля неподвижна и является центром Вселенной; 2) Земля испорчена и несовершенна, а небеса вечны, неизменны и точны. Считая круг совершенной кривой и признавая небеса совершенными, греки решили, что все небесные тела должны двигаться по кругу вокруг Земли. Со временем их наблюдения (повлекшие за собой создание календаря) показали, что планеты не двигаются по совершенным кругам, и грекам пришлось позволить планетам передвигаться в более сложных комбинациях кругов — так появилась чрезмерно сложная система Клавдия Птолемея из Александрии, точно так же Аристотель разработал фантастические теории движения, исходя из самоочевидных аксиом, как, например, утверждение, что скорость падающего предмета пропорциональна его весу. (Любой может заметить, что камень падает быстрее, чем перо.)

Это поклонение дедукции с самоочевидными аксиомами привело древних мыслителей к краю пропасти. После того как греки разработали все значения аксиом, а в дальнейшем сделали важные открытия в математике и астрономии, уже не возникало никаких вопросов. Философские знания казались полными и точными, и почти 2000 лет назад, после золотого века Греции, когда следовало разрешить проблемы, касавшиеся материальной Вселенной, дабы удовлетворить всех, говорили: «Аристотель утверждает...» или «Евклид полагает...».

Решив проблемы математики и астрономии, греки обратились к более тонким областям знания. Человеческая душа была одной из таких областей.

Платон был гораздо больше заинтересован в ответе на вопрос, «что такое справедливость?» или «что такое достоинство?», чем объяснить, как идет дождь или как двигаются планеты. В качестве высшего этика Греции он заменил высшего физика Аристотеля. Греческие мыслители римского периода все больше и больше были привлечены к утонченным наслаждениям этики, отдаляясь от очевидно скучной физики.

Христианство, с его упором на природу Бога и его отношением к человеку, перевело в совершенно новое измерение предмет этики и усилило ее превосходство над физикой. С 200-го до 1200 года нашей эры европейцы интересовались почти только этикой, в особенности в связи с богословием. Физика была почти забыта.

Арабы, однако, сумели пронести учение Аристотеля и Птолемея через Средневековье, и от них греческая физика в конечном

счете пришла в Западную Европу. К 1200 году Аристотель был повторно возвеличен. Дальнейшие надежды внушала угасающая Византийская империя, которая была последней областью в Европе, которая непрерывно поддерживала культурную традицию с великих дней Греции.

Первым и наиболее естественным следствием переоткрытия Аристотеля было применение его системы логики к богословию. Приблизительно в 1250 году итальянский богослов Фома Аквинский установил систему, называемую «томизм», основанную на Аристотелевых принципах, которая до сих пор остается основополагающей в богословии Римской католической церкви.

Мыслители Ренессанса открыли новую перспективу греческой физике. В 1543 году польский астроном Николай Коперник издал книгу, в которой зашел так далеко, что отбросил основную аксиому астрономии: он предположил, что Солнце, а не Земля, есть центр Вселенной, сохранив понятие круговых орбит Земли и других планет. Эта новая аксиома дала наиболее простое объяснение наблюдаемых движений небесных тел. Все же аксиома Коперника о перемещающейся Земле была гораздо менее очевидна, чем греческая аксиома неподвижной Земли, и неудивительно, что потребовалось почти столетие, чтобы теория Коперника была принята.

Система Коперника не стала переворотом в науке. Аристарх из Самоса 2000 годами ранее уже предполагал, что Солнце — центр Вселенной. Однако нельзя сказать, что изменение аксиомы — незначительный вопрос. Когда математики XIX столетия бросили вызов аксиомам Евклида и разработали неевклидову геометрию, основанную на других предположениях, они считали, что повлияют на многие вопросы наиболее глубоким способом: сегодня история и форма Вселенной скорее соответствует неевклидовой геометрии, чем геометрия «здравого смысла» Евклида. Но переворот, произведенный Коперником, не только изменил отношение к аксиоме, но и в конечном счете повлек за собой новый подход к природе. Этот переворот осуществил итальянец Галилео Галилей.

Греки, вообще говоря, были склонны воспринять очевидные факты природы как основу своих рассуждений. Аристотель когда-то бросил два камня разного веса, желая проверить предположение, что скорость падения предмета пропорциональна его весу. Греки скептически относились к экспериментированию, полагая, что оно умаляет красоту чистой дедукции. Кроме того, если эксперимент не согласовался с дедукцией, мог ли кто-либо быть уверен, что он подтверждает истину? Было ли вероятно, что несовершенный мир действительности полностью соответствует совершенному миру абстрактных идей? Идея проверить совер-

шенную теорию с помощью несовершенных инструментов не впечатляла греческих философов, они не считали этот способ получения знаний обоснованным.

Экспериментирование становилось философски представительным в Европе при поддержке таких философов, как Роджер Бэкон (современник Фомы Аквинского), а позже его однофамильца Фрэнсиса Бэкона. Но именно Галилей опроверг греческое представление. Убедительный логик и гениальный публицист, он описал свои эксперименты и высказал свою точку зрения так ясно и так драматично, что покорила европейское ученое сообщество и оно восприняло его методы наряду с результатами.

Галилей опроверг ошибочные положения учения Аристотеля относительно падающих тел, разрешая вопросы природы таким способом, что вся Европа смогла слышать ответ. Бытует история о том, как он поднялся на вершину Пизанской падающей башни, откуда одновременно сбросил десяти- и однофунтовые шары; удар этих двух шаров, коснувшихся земли, в ту же долю секунды уничтожил физику Аристотеля.

На самом деле Галилео, вероятно, не ставил этого специфического эксперимента, но он типичен для его методов, и неудивительно, что в историю верили на протяжении столетий.

А шары по наклонным плоскостям Галилео, бесспорно, катал и на основе этих экспериментов открыл закон движения по наклонной плоскости.

Его переворот заключался в главенстве индукции, более логичного научного метода, над дедукцией. Вместо того чтобы делать заключения, опираясь на ряд предполагаемых обобщений, приверженцы индуктивного метода начинают с наблюдений и на их основе делают обобщения (аксиомы, если хотите). Конечно, даже греки получили аксиомы благодаря наблюдению. Аксиома Евклида относительно того, что прямая линия — кратчайшее расстояние между двумя точками, была интуитивным суждением, основанным на опыте. Но, принимая во внимание, что греческий философ минимизировал роль индукции, современный ученый смотрит на индукцию как на существенный процесс получения знаний, единственный способ оправдания обобщений. Кроме того, он понимает, что ни одному обобщению не будет позволено остаться без изменений, если оно еще хотя бы раз не подтвердится новыми экспериментами.

Ни одно индуктивное испытание не может передать обобщение полностью и абсолютно хорошо. Даже если миллиарды наблюдателей поддержат какое-либо обобщение, обладатель единственного наблюдения, противоречащего ему или с ним несовместимого, должен требовать изменений. И независимо от того, сколь много раз теория успешно выдержит испытание, нет никакой уверенности, что это испытание не будет опровергнуто следующим наблюдением.

Это краеугольный камень современной физики. И не следует рассчитывать на достижение окончательной правды. Фактически фраза «окончательная правда» становится бессмысленной, потому что нет никакого способа наблюдений, достаточного для того, чтобы правда была определенной, а следовательно, окончательной. Греческие философы не признали ни одного такого ограничения. Кроме того, они не видели никакой трудности в применении точно такого же метода рассуждения к вопросу «что такое справедливость?» и «что такое сущность?». Современная наука четко разграничивает два этих вопроса. Индуктивный метод не может делать обобщения относительно того, чего нельзя наблюдать... Такие субстанции находятся за пределами индуктивного метода.

Победа современной науки не будет окончательной до тех пор, пока не будет установлен еще один принцип, а именно свободная и прочная связь ученых. Хотя необходимость этого нам сейчас кажется очевидной, она не казалась таковой древним и средневековым философам. Пифагорейцы Древней Греции, объединенные в тайное общество, хранили их математические открытия для себя. Алхимики Средневековья преднамеренно распространяли так называемые результаты среди членов тесного круга доверенных людей. В XVI столетии итальянский математик Никколо Тартаглия нашел метод решения кубических уравнений и не видел ничего страшного в попытке сохранить его в тайне. Когда Геронимо Кардано, юный математик, выведал у Тартаглии тайну и поведал ее миру как собственное открытие, Тартаглия, естественно, был оскорблен, но, если закрыть глаза на обман Кардано, следует признать его правоту — такое открытие должно было стать всеобщим достоянием.

В настоящее время ни одно научное открытие не считают таковым, если оно хранилось в тайне. Английский химик Роберт Бойль, спустя столетие после Тартаглии и Кардано, подчеркнул важность публикации результатов всех научных наблюдений в мельчайших деталях. Кроме того, новое наблюдение или открытие больше не признают даже после публикации, до тех пор, пока следующий исследователь не повторит эксперимент и не подтвердит его результатов. Наука — это не индивидуальная работа, а общественное действие.

Одна из первых — и конечно же одна из наиболее известных групп — Королевское Лондонское естественно-научное общество представляет такое сообщество. Оно выросло из частных бесед, которые приблизительно с 1645 года устраивали любители наук, вдохновленные новыми научными методами Галилея. В 1660 году общество было официально утверждено хартией короля Карла II.

Члены Королевского общества встречались и открыто обсуждали результаты своих исследований, писали письма, предпочи-

тая английский язык латыни и с большим энтузиазмом отдаваясь научным экспериментам. Однако в течение почти всего XVII столетия им приходилось защищаться от нападения. Отношение многих из их ученых современников могло бы быть выражено с помощью карикатуры, говоря современным языком, на которой величественные тени Пифагора, Евклида и Аристотеля надменно смотрят на детей, играющих в шарики с надписью «Королевское общество».

Все изменилось с приходом Исаака Ньютона в Королевское общество. Исходя из наблюдений Галилея, датского астронома Тихо Браге и немецкого ученого Иоганна Кеплера, который обнаружил эллиптическую природу орбит планет, Ньютон путем размышлений вывел три простых закона движения и их гениальное обобщение — закон всемирного тяготения. Ученый мир был так потрясен этим открытием, что Ньютона при жизни боготворили.

Построение этой новой, величественной вселенной на нескольких простых законах привело к тому, что теперь уже греческие философы напоминали мальчишек, играющих в шарики. Переворот, у истоков которого стоял в начале XVII столетия Галилео, был триумфально завершен Ньютоном в конце того же века.

Как бы хотелось сказать, что наука и человек с тех пор зажили счастливо. Но правда заключается в том, что настоящие проблемы науки и человека только начинались. Пока наука объясняла частное, исходя из общих принципов, натуральная философия могла быть частью общей культуры всего цивилизованного мира. Но индуктивные методы в науке потребовали огромной работы: наблюдения, изучения и анализа. Наука перестала быть забавой для любителей. И сложность науки росла с каждым десятилетием. В течение столетия после Ньютона все еще было возможно для способного человека овладеть всеми областями научного знания. Но к 1800 году об этом уже не могло быть и речи. С течением времени все больше и больше необходимо было для ученого ограничить себя какой-либо областью науки, если он собирался принять активное участие в этой области. В свою очередь, специализация влияла на науку, придавая ей невиданное ускорение. И с каждым поколением ученых специализация росла все более и более интенсивно.

Публикации ученых по результатам их собственных работ никогда не были так обильны и так скучны для любого, кроме их коллег. Это и обернулось большим недостатком для самой науки, источником развития которой часто было взаимное проникновение знаний из различных областей. И более всего огорчало то, что наука все больше и больше теряла контакт с людьми, не принадлежащими к миру ученых. При таких обстоятельствах ученость становится почти как волшебство — скорее отпугивает, чем вос-

хищает. И представление о науке как о непостижимом волшебстве, понятном только немногим избранным, привело к тому, что молодежь отвернулась от науки. В 1960-х годах сильное чувство прямой враждебности к науке было характерно для молодежи — даже для образованных молодых людей с высшим образованием.

Наше индустриальное общество базируется на научных открытиях последних двух столетий, но существует и нежелательный побочный эффект успехов в науке.

Прогресс в медицине привел к росту численности населения; химические отрасли промышленности и двигатели внутреннего сгорания загрязняют нашу воду и наш воздух; спрос на материалы и на энергию истощает природные богатства Земли. Во всех этих бедах так легко обвиняют «науку» и «ученых» те, кто не способен понять, что если наука и создает проблемы, то это не означает, что ученые не могут их решить.

Все же современная наука не должна казаться мистической тайной для непосвященных. В конце концов, никто не считает, что оценить Шекспира может только тот, кто сам способен написать большой роман. Чтобы восхищаться симфонией Бетховена, не требуется того, чтобы слушатель был сам сочинителем симфонической музыки. Точно так же можно ценить и наслаждаться достижениями науки, даже не будучи большим ученым.

Возникает вопрос: что же делать? Первый ответ заключается в том, что в действительности никто не может чувствовать себя в современном мире как дома и судить о проблемах — и о возможных решениях этих проблем, — если он не обладает некоторыми общими понятиями, что же вообще представляет собой наука. Но кроме этого, введение в прекрасный мир науки приносит большое эстетическое наслаждение, вдохновляет молодежь к познанию тайн природы и дает более глубокое понимание замечательных возможностей и достижений человеческого ума.

Эти мысли и побудили меня написать эту книгу.

Глава 2 **ВСЕЛЕННАЯ**

Размеры Вселенной

На первый взгляд на небе нет ничего, что говорило бы обычному наблюдателю о громадных расстояниях. У маленьких детей нет больших проблем с фантазией, и они могут сказать, например, «корова перепрыгнула через луну» или «он прыгает до неба». Древние греки не видели ничего смешного, позволяя небу в своих мифах опираться на плечи Атласа. Конечно, Атлас должен быть астрономически высок, но другой миф предлагает иной вариант. Атлас был завербован Гераклом, чтобы тот помог ему с

одиннадцатым из его двенадцати знаменитых подвигов — достать золотые яблоки из садов Гесперид (дальний запад — Испании?). Пока Атлас ходил за яблоками, Геракл стоял на горе и поддерживал небо. Допустим, что Геракл был большой человек, но, однако, он не был гигантом. Отсюда следует, что ранние греки относились весьма спокойно к представлению, что небо находилось от верхушек гор на расстоянии всего лишь нескольких футов.

Для начала естественно предположить, что небо — просто твердый навес, в котором сияющие небесные тела размещены подобно алмазам. (Так, Библия называет небо «firmament» (небесный свод) от того же самого латинского корня, что и слово «firmus» (твердый).) Между VI и IV веками до нашей эры греческие астрономы поняли, что должен существовать больше чем один навес. Если «неподвижные» звезды перемещались вокруг Земли, явно не изменяя своего относительного положения, то это не было верно для Солнца, Луны и пяти ярких подобных звезд объектов (Меркурия, Венеры, Марса, Юпитера и Сатурна) — фактически каждый из них двигался по своему собственному пути. Эти семь небесных тел были названы планетами (слово греческого происхождения, означающее «блуждающий»). Казалось очевидным, что они не могут быть на том же небосводе, что и звезды. Греки считали, что каждая планета находится на своем собственном невидимом своде и эти своды располагаются один над другим, самый близкий принадлежит планете, которая передвигалась с самой высокой скоростью. Быстрее всех передвигалась Луна, которая делала оборот по небу приблизительно за двадцать девять с половиной дней. Затем следуют по порядку (так думали греки) Меркурий, Венера, Солнце, Марс, Юпитер и Сатурн.

Первое научное измерение космических объектов было выполнено в 240 году до нашей эры. Эратосфен Киренский, возглавивший Библиотеку в Александрии, тогда наиболее передовое научное учреждение в мире, заметил, что 21 июня, когда в полдень солнце было прямо над головой в египетском городе Сиена, в это время оно не было в зените в Александрии, расположенной в 500 милях севернее Сиены. Эратосфен решил, что объяснением этому должно быть то, что поверхность земли искривлена. По длине падающей тени в Александрии простые геометрические расчеты позволяют рассчитать величину искривления поверхности Земли на расстоянии 500 миль от Сиены до Александрии. Отсюда можно было вычислить длину окружности и диаметр Земли, принимая как данность, что Земля имеет сферическую форму — факт, который греческие астрономы того времени были готовы воспринять.

Эратосфен получил ответ (в греческих единицах измерения), и если, насколько мы это представляем, мы переведем его результаты в наши единицы измерения, то диаметр получится прибли-



Эратосфен измерил размер Земли по ее кривизне. В полдень 21 июня в Сиене, находящейся на тропике Рака, солнце находится прямо над головой. Но в это же время в Александрии, лежащей на более северной широте, солнечные лучи падают под углом $7,5^\circ$ к вертикали, и все предметы отбрасывают тени. Эратосфен выполнил свои расчеты, зная расстояние между двумя городами и длину тени в Александрии

зительно равен 8000 миль, а длина окружности — 25 000 миль. Эти результаты неплохо согласуются с современным представлением. К сожалению, открытие Эратосфена не получило широкого распространения. Приблизительно в 100 году до нашей эры другой греческий астроном, Позидон из Апамеи, повторил измерения Эратосфена, но пришел к заключению, что длина окружности, опоясывающей Землю, равна всего лишь 18 000 миль.

Именно это, меньшее, значение использовал потом Птолемей, и оно перешло к средневековым ученым. Колумб в своих расчетах также пользовался этими заниженными данными. Морское путешествие в западном направлении привело бы его в Азию. Если бы он знал точный размер Земли, он, возможно, не стал бы рисковать. Только до 1521—1523 годов, когда флот Магеллана (или, вернее, оставшийся от флота корабль) в конце концов совершил кругосветное плавание, правильное знание теории Эратосфена было наконец восстановлено.

Гиппарх из Никеи приблизительно в 150 году до нашей эры определил расстояние до Луны. Он использовал для этого диаметр Земли в качестве единицы измерения — метод, который был предложен столетием ранее Аристархом из Самоса, наиболее дерзким из всех греческих астрономов. Греки уже догадались, что затмения Луны были вызваны Землей, находящейся между Солнцем и Луной. Аристарх считал, что граница тени Земли, пересекающей Луну, дает возможность установить относительные раз-

меры Земли и Луны. С помощью геометрических методов было вычислено расстояние до Луны, выраженное в диаметрах Земли. Гиппарх, повторяя эту работу, вычислил, что расстояние от Луны до Земли равнялось тридцати диаметрам Земли. Если за диаметр Земли мы возьмем значение, полученное Эратосфеном, — 8000 миль, — то расстояние до Луны должно составлять приблизительно 240 000 миль. И это был правильный результат.

Но расстояние до Луны было определено до того, как греческая астрономия взялась за определение размера Вселенной. По крайней мере, Аристарх предпринял героическую попытку определить расстояние до Солнца. Геометрический метод, который он использовал, был теоретически абсолютно правилен, но без соответствующих приборов ему было не под силу добиться верного результата. Он решил, что расстояние от Земли до Солнца приблизительно равно двадцати расстояниям до Луны (фактически оно больше в 400 раз). Хотя данные Аристарха были неправильны, он, однако, вывел из них, что Солнце должно быть по крайней мере в семь раз больше Земли. Стало довольно нелогично считать, что большое Солнце вращается вокруг маленькой Земли, и он предположил, что, вероятно, Земля вращается вокруг Солнца.

К сожалению, никто не захотел его слушать. Более поздние астрономы, начиная с Гиппарха и заканчивая Клавдием Птолемеем, строили свои теории на основе неподвижности Земли в центре Вселенной. Эта схема просуществовала до 1543 года, когда Николай Коперник издал книгу, которая возвращала к точке зрения Аристарха, окончательно отметала положения о том, что Земля — центр Вселенной.

Простой факт, что Солнце — центр Солнечной системы, не помогал определить расстояние до планет. Коперник принял греческую величину расстояния до Луны, но у него не было понятия о расстоянии до Солнца. Только в 1650 году бельгийский астроном Годефрой Венделин повторил наблюдения Аристарха, пользуясь более совершенными приборами, и определил, что расстояние до Солнца было не в 20 раз больше расстояния до Луны (5 миллионов миль), а в 240 раз (60 миллионов миль). Величина была все еще меньше истинной, но ближе к истинной, чем прежняя.

В 1609 году немецкий астроном Иоганн Кеплер проложил путь к точным определениям расстояний между планетами с помощью его открытия, что орбита планет эллипсоидальна. Впервые стало возможно точно вычислить планетарные орбиты, а кроме того, начертить масштабную карту Солнечной системы.

Космические расстояния можно рассчитать используя параллакс. Параллакс — видимое изменение положения небесного светила вследствие перемещения глаза наблюдателя. Этот термин легко иллюстрировать простым экспериментом. Держа палец при-

близительно в 3 дюймах от глаз, сначала посмотрите на него только левым глазом, а затем только правым. Ваш палец будет изменять положение относительно фона. Теперь повторяете опыт, отставив палец намного дальше, скажем на длину руки. Палец тоже будет перемещаться относительно фона, но на сей раз не так заметно. Сделав некоторое количество измерений, можно определить расстояние пальца от вашего глаза.

Конечно, для объекта, находящегося на расстоянии 50 футов, изменение положения становится слишком маленьким, чтобы измерить его. Нам потребуется более широкий базис, чем расстояние между двумя нашими глазами.

Такой же метод можно использовать для измерения расстояния до Луны и звезд, играющих роль фона. Например, при взгляде с наблюдательного пункта в Калифорнии Луна будет в одном положении относительно звезд. Если глядеть в тот же самый момент из наблюдательного пункта в Англии, то она окажется в другом положении. На основании изменения положения и известного расстояния между этими двумя наблюдательными пунктами расстояние до Луны может быть рассчитано. Теоретически мы можем увеличить базис, делая наблюдения из пунктов, расположенных с противоположной стороны Земли. Длина базиса в таком случае будет 8000 миль.

Клавдий Птолемей сумел геометрически определить расстояние до Луны, и его результат совпал с более ранним числом Гиппарха. Но когда требовалось измерить параллакс Солнца или какой-либо планеты, углы были слишком малы. Единственное заключение, которое можно было сделать, — другие небесные тела расположены намного дальше, чем Луна. Насколько дальше, никто сказать не мог.

В 1667 году французский астроном итальянского происхождения Джованни Доменико Кассини определил параллакс Марса, положение этой планеты относительно звезд. Ученый вычислил масштаб Солнечной системы. Он установил, что расстояние от Солнца до Земли 86 миллионов миль, и это число оказалось всего на 7 процентов меньше, чем фактическое значение.

С тех пор различные параллаксы в Солнечной системе измерялись со все увеличивающейся точностью. В 1831 году обширный международный проект позволил определить параллакс малой планеты Эрос, которая в то время была более близка к Земле, чем другое небесное тело, кроме Луны. Эрос в данном случае показал большой параллакс, который удалось измерить со значительной точностью. Изучение движения Эроса позволило уточнить параллакс Солнца и значение астрономической единицы. Размеры Солнечной системы были определены более точно, чем когда-либо прежде. При помощи методов, позволяющих получить еще более точные данные, чем параллакс, позднее определено расстояние Солнца от Земли, которое, как известно, составляет

приблизительно 92 965 000 миль. (Поскольку земная орбита — эллиптическая, фактическое расстояние изменяется от 91,4 миллиона до 94,6 миллиона миль.)

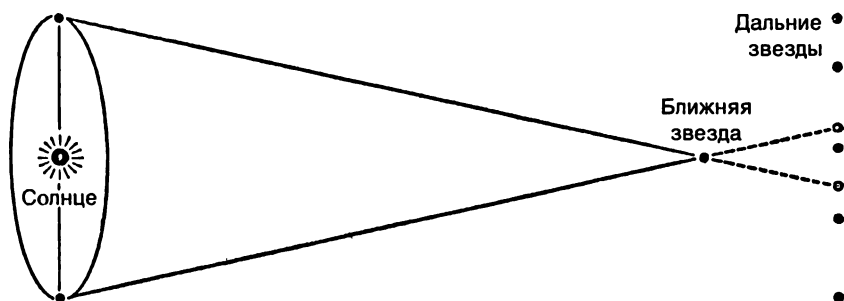
Это среднее расстояние называется астрономической единицей (А. Е.). Познакомимся с другими расстояниями в Солнечной системе. Например, Сатурн расположен в 9,54 А. Е. от Солнца. Когда были обнаружены планеты Уран, Нептун и Плутон, границы Солнечной системы последовательно увеличились. Расстояние Плутона от Солнца составило 39,53 А. Е. А некоторые кометы, как известно, еще более удалены от Солнца.

К 1830 году было установлено, что Солнечная система простирается на миллиарды миль, но, очевидно, это отнюдь не полный размер Вселенной. Там были еще и звезды.

Астрономы были уверены, что звезды распространены по всему пространству Вселенной и что одни из них ближе, чем другие, только потому, что ярче других. Предположим, что более близкие звезды могут показать больший параллакс по сравнению с более отдаленными. Однако ни один звездный параллакс не мог быть определен, даже когда астрономы взяли за основу полный диаметр орбиты Земли вокруг Солнца (186 миллионов миль) и наблюдали звезды с противоположных точек орбиты с интервалом в полгода. И это конечно же означает, что даже самые близкие звезды чрезвычайно от нас далеки, так как самые лучшие телескопы не сумели показать их параллакс.

Но телескопы и другие приборы продолжали совершенствоваться. В 1830 году немецкий астроном Фридрих Вильгельм Бессель использовал незадолго до этого изобретенное устройство, называемое гелиометром («измерителем Солнца»), потому что это устройство первоначально предназначалось для измерения диаметра Солнца с большой точностью. Конечно же этот прибор можно было использовать и для измерения других расстояний Вселенной, и Бессель с его помощью измерил расстояние между двумя звездами. Повторяя измерения ежемесячно, он, наконец, преуспел в определении параллакса звезды. Он выбрал маленькую звезду в созвездии Лебедь, называемую 61 Лебеда. Причина такого выбора заключалась в том, что ее положение относительно других звезд из года в год менялось в значительной степени. Ученый предположил, что эта звезда ближе, чем другие. Бессель точно определил последовательные положения 61 Лебеда относительно соседних звезд, продолжая наблюдения на протяжении года. Затем, в 1838 году он сообщил, что параллакс 61 Лебеда равен 0,31 угловой секунды, значит, 61 Лебеда была приблизительно в 64 триллионах миль от Земли.

Поскольку столь огромными цифрами не очень удобно оперировать, астрономы используют для определения расстояния скорость света. Таким образом, 61 Лебеда находится от нас на расстоянии приблизительно 11 световых лет.



Параллакс звезды измерен с противоположных точек земной орбиты вокруг Солнца

Спустя два месяца после успеха Бесселя британский астроном Томас Хендерсон (утративший честь быть первым!) сообщил о расстоянии до альфы Центавра, самой яркой звезды на небесах. Оказалось, что параллакс альфы Центавра равен $75''$ угловых секунд, вдвое больше, чем у 61 Лебеда. Поэтому альфа Центавра, соответственно, ближе. Фактически это — только 4,3 световых года от Солнечной системы, так что альфа Центавра входит в группу наших самых близких звездных соседей.

В 1840 году русский астроном Василий Яковлевич Струве определил параллакс Веги, четвертой из самых ярких звезд на небе. Он оказался очень маленьким, и расстояние до звезды составило 27 световых лет.

К 1900 году методом параллакса были определены расстояния приблизительно до 70 звезд, а к 1950 году — почти до 6000. Сто световых лет — предельное расстояние, которое может быть измерено с достаточной точностью, даже при помощи лучших приборов. А вне этого — бесчисленные звезды на наиболее больших расстояниях.

Невооруженным глазом мы можем видеть приблизительно 6000 звезд. Изобретение телескопа сразу позволило понять, что это только фрагмент Вселенной. Когда Галилей стал с помощью телескопа в 1609 году наблюдать за небом, он не только обнаружил ранее невидимые звезды, но и, наблюдая за Млечным Путем, испытал глубокий шок. Невооруженному глазу Млечный Путь представляется светящейся туманной полосой. Телескоп Галилея превратил этот туманный свет в бесчисленное множество звезд.

Первым человеком, который извлек из этого открытия практический смысл, был англичанин немецкого происхождения Уильям (Фридрих Вильгельм) Гершель. В 1785 году Гершель предположил, что звезды имеют форму линз. Он исследовал Млечный

Путь, наблюдал звездное небо, изучал звездные скопления. На основании полученных данных Гершель создал модель нашей звездной системы, названной Галактикой Млечный Путь.

Гершель пробовал определить и размер Галактики. Он рассчитал относительное расстояние до звезды, основываясь на ее видимой нами яркости. В соответствии с известным законом яркость уменьшается пропорционально квадрату расстояния, таким образом, если яркость звезды А составляет девятую часть яркости звезды Б, то расстояние до нее в три раза больше.

Гершель подсчитал, что в целом в Галактике приблизительно 100 миллионов звезд. Исходя из степени их яркости, он сделал вывод, что диаметр Галактики равен 850 расстояниям до яркой звезды Сириуса, а ее высота — 155 таким расстояниям.

Сейчас мы знаем, что расстояние до Сириуса — 8,8 светового года, таким образом, подсчет Гершеля был эквивалентен Галактике размером приблизительно 7500 световых лет диаметром и 1300 световых лет высотой. Как оказалось, эти данные были слишком консервативными, но относительно предположений Аристарха о расстоянии до Солнца это был шаг в правильном направлении.

В начале 1906 года нидерландский астроном Якобус Корнелиус Каптейн провел другое исследование Млечного Пути. В его распоряжении была фотография, и он знал точное расстояние до самых близких звезд, потому сумел сделать более точные вычисления, чем Гершель. Каптейн решил, что размер Галактики составляет 23 000 световых лет. Таким образом, модель Галактики Каптейна оказалась больше модели Гершеля в четыре раза в диаметре и в пять раз по высоте, но эти величины были много меньше, чем реальные.

Таким образом, к 1900 году ситуация с определением звездных расстояний была подобна той, что сложилась относительно планетарных расстояний в 1700 году. В ту пору расстояние до Луны было известно, тогда как расстояние до более далеких планет знали весьма приблизительно. В 1900 году расстояние до более близких звезд было известно точно, а до отдаленных — только приблизительно.

Следующим шагом вперед стало открытие пульсирующих переменных звезд-сверхгигантов, блеск которых меняется. Началось все с довольно яркой звезды дельты Цефея, в созвездии Цефей. При тщательном изучении было обнаружено, что яркость звезды меняется. От самой тусклой стадии звезда довольно быстро удваивает яркость, а затем медленно возвращается к прежнему состоянию. Процесс регулярно повторяется. Астрономы обнаружили множество других звезд, блеск которых тоже регулярно меняется, и в честь дельты Цефея назвали их цефеиды.

Периоды цефеид (время от одного тусклого состояния до другого тусклого состояния) составляют от одного дня до трех меся-

цев. У самых близких к Солнцу этот период составляет около недели. У самой дельты Цефея этот период составляет 5,3 дня, в то время как у самой близкой цефеиды Полярной звезды составляет четыре дня. Яркость Полярной звезды, однако, незначительно изменяется, и это нелегко заметить.

Со времен Гиппарха яркость звезд характеризуется звездной величиной. Чем ярче звезда, тем ниже величина. Двадцать самых ярких звезд он назвал звездами первой величины; более тусклые — звездами второй величины. Затем следуют звезды третьей, четвертой и пятой величины, а те, которые едва видны, называются звездами шестой величины.

В 1856 году понятие Гиппарха обрело количественные характеристики. Английский астроном Норман Роберт Погсон определил, что средняя звезда первой величины приблизительно в 100 раз ярче, чем средняя звезда шестой величины.

Современные астрономические методы позволяют устанавливать величины с точностью до десятой и в некоторых случаях до сотой. Среди звезд знакомая нам 61 Лебеда является тусклой звездой величиной 5,0. Капелла — яркая звезда, величиной 0,9, альфа Центавра все еще самая яркая, величиной 0,1. Измерения продолжаются все в поисках более ярких звезд, которые могли бы быть обозначены величиной 0 и отрицательными числами.

Это очевидные величины звезд, поскольку таковыми мы видим их, а не абсолютные яркости, не зависящие от расстояния. Но, зная расстояние до звезды и ее очевидную величину, мы можем вычислять ее фактическую яркость. Астрономы базируются абсолютные величины на яркости стандартного расстояния, которое было установлено в 10 парсеков, или 32,6 светового года. (Парсек — единица длины в астрономии, равная расстоянию, на котором параллакс составляет одну угловую секунду, он равен 3,26 светового года.)

Хотя Капелла выглядит немного тусклее, чем альфа Центавра и Сириус, фактически это наиболее мощный излучатель света, чем любой из них. А выглядит она более тусклой, потому что находится намного дальше. Будь все они на одном расстоянии, Капелла оказалась бы среди них самой яркой. Абсолютная величина Капеллы — 0,1, Сириуса — 1,3 и альфы Центавра — 4,8. Наше собственное Солнце обладает примерно той же яркостью, что и альфа Центавра, имея абсолютную величину 4,86. Это обычная, среднего размера звезда.

Но вернемся к цефеидам. В 1912 году мисс Генриетта Ливитт, астроном из Гарвардской обсерватории, изучала Малое из Магеллановых Облаков — двух близких к нам галактик, видимых на небе в Южном полушарии и названных в честь Фернана Магеллана, потому что их впервые наблюдали во время его кругосветного плавания. Среди звезд Малого Магелланова Облака мисс Ливитт обнаружила 25 цефеид. Она записала период каждой и, к

своему удивлению, сделала заключение: чем более продолжителен период, тем ярче звезда.

Но этому принципу не следовали изменчивые цефеиды, находившиеся по соседству. Почему же такая закономерность присуща звездам Малого Магелланова Облака? Для наших цефеид мы знаем только очевидные величины, а не расстояния до них или абсолютные яркости, у нас нет соотношения периода звезды и ее яркости. Но в Малом Магеллановом Облаке все звезды приблизительно на одинаковом расстоянии от нас, потому что само Облако — очень далеко. Если объекты значительно удалены, что такое несколько миль, когда счет идет на тысячи? В этом случае звезда в дальнем конце Магелланова Облака — не многим дальше, чем звезда в ближнем его конце.

Относительно звезд Малого Магелланова Облака, находящихся приблизительно на одном и том же расстоянии от нас, их очевидную величину можно взять как меру их сравнительной абсолютной величины. Итак, мисс Ливитт определила, что период цефеид плавно увеличивался с абсолютной величиной. Она составила график, который показал, какой период цефеида должна иметь при конкретной абсолютной величине и, наоборот, какова абсолютная величина цефеиды данного периода.

Если цефеиды во всей Вселенной ведут себя так же, как и в Малом Магеллановом Облаке, то астрономы могли использовать данные вычисления для измерения расстояний, настолько больших, насколько цефеиды могут быть обнаружены с помощью лучших телескопов. Обнаружив две цефеиды с равными периодами, они могли бы предположить, что обе равны и в абсолютной величине. Если цефеида А в 4 раза ярче, чем цефеида Б, то цефеида Б вдвое дальше от нас. В результате относительные расстояния всех наблюдаемых цефеид могли быть нанесены на карту. Сейчас, если известно расстояние только до одной из цефеид, можно определить расстояния до других.

К сожалению, даже самая близкая из цефеид, Полярная звезда, находится в сотнях световых лет — слишком далеко, чтобы измерить расстояние до нее, используя параллакс. Астрономы должны были использовать менее прямые методы. Один из подходящих методов виделся в собственном движении звезд. Общеизвестно, что чем дальше звезда, тем меньше ее собственное движение. Вспомните, Бессель решил, что 61 Лебедя расположена относительно близко, потому что имела большое собственное движение. Множество устройств использовалось, чтобы определить собственное движение групп звезд, при этом применяли и статистические методы. Процедура была усложнена, но результаты дали приблизительные расстояния различных групп звезд, которые содержали цефеиды. Исходя из расстояний и очевидных величин этих цефеид, могли быть определены их абсолютные величины, и они сравнены с периодами.

В 1913 году датский астроном Эйнар Гершпрунг обнаружил, что у цефеид с абсолютной величиной 2,3, период составляет 6,6 дня. Зная это и используя график мисс Ливитт, он мог определить абсолютную величину любой цефеиды.

Несколькими годами позже американский астроном Харлоу Шепли повторил работу и установил, что цефеида абсолютной величины 2,3 имеет период 5,96 дня. Соотношение было достаточно точным, чтобы позволить астрономам идти вперед. У них появились свои критерии.

В 1917 году Шепли стал наблюдать за цефеидами нашей Галактики, в надежде с их помощью определить размер Галактики. Он сконцентрировался на цефеидах, найденных в группах звезд, называемых шаровыми звездными скоплениями.

Эти скопления наблюдал Гершель столетием ранее.

В нашей Галактике существует более 100 шаровых скоплений. Шепли вычислил, что расстояние различных шаровых скоплений от нас от 20 000 до 200 000 световых лет. Он также обнаружил, что шаровые скопления распространены в плоском линзообразном диске, который делит пополам Млечный Путь. Шепли сделал естественное предположение, что скопления симметрично распределены относительно ветвей центра Галактики, и вычислил его положение в пределах Млечного Пути в направлении созвездия Стрелец (приблизительно 50 000 световых лет от нас). Подразумевалось, что наша Солнечная система далека от того, чтобы быть центром Галактики, как думал Гершель, и она смещена к одному краю.

В своей модели Шепли изобразил Галактику в виде гигантской линзы диаметром приблизительно 300 000 световых лет. На сей раз величина была завышена, как вскоре показал более надежный метод измерения.

Исходя из того факта, что Галактика имеет форму диска, что следует из теории Уильяма Гершеля, астрономы предположили, что она вращается в пространстве. В 1926 году нидерландский астроном Ян Хендрик Оорт решил измерить параметры этого вращения. Галактика, которую образуют многочисленные звезды, которые имеют собственную траекторию движения, вращается не как единое твердое тело (например, колесо). Звезды, находящиеся близко к гравитационному центру диска, должны вращаться быстрее, чем те, которые находятся дальше (точно так же, как планеты, которые находятся ближе к Солнцу, быстрее передвигаются по орбите). Это означает, что звезды, расположенные ближе к центру Галактики (то есть в направлении созвездия Стрелец), должны иметь тенденцию обгонять Солнце, при этом звезды, находящиеся дальше от центра (в направлении созвездия Близнецы), должны, напротив, иметь тенденцию отставать при вращении. И чем дальше от нас звезда, тем больше разность в скорости вращения.

Основываясь на этих предположениях, стало возможно вычислить скорость вращения пояса звезд вокруг галактического центра. Солнце и близлежащие звезды, как оказалось, перемещаются относительно галактического центра со скоростью приблизительно 150 миль в секунду и полностью обращаются вокруг центра за 200 миллионов лет. (Солнце имеет круговую орбиту движения, в то время как орбиты некоторых звезд, типа Арктура, эллиптические. Тот факт, что различные звезды не вращаются по параллельным орбитам, объясняет относительное движение Солнца к созвездию Геркулес.)

Рассчитав скорость вращения звезд, астрономы получили возможность вычислить силу тяготения галактического центра и его массу. Галактический центр, оказывается, в 100 миллиардов раз массивней, чем наше Солнце. Так как Солнце — звезда средней массы, наша Галактика содержит от 100 до 200 миллиардов звезд.

Зная орбиты вращения звезд, можно определить центр, вокруг которого звезды вращаются. Таким образом, было подтверждено, что центр Галактики находится в созвездии Стрелец, как это определил Шепли, но только в 27 000 световых лет от нас, а полный диаметр Галактики 100 000 световых лет, а не 300 000. В этой новой модели толщина галактического диска приблизительно 20 000 световых лет в центре и уменьшается к краю. В местоположении Солнца, которое на две трети ближе к краю, толщина диска составляет примерно 3000 световых лет. Но это довольно приблизительные оценки, потому что Галактика не имеет четко определенных границ.

Если Солнце расположено близко к краю Галактики, почему Млечный Путь не намного ярче в направлении к центру, чем в противоположном направлении? Глядя в направлении созвездия Стрелец, мы видим основную часть Галактики с почти 100 миллиардами звезд, тогда как к краю их имеется только несколько миллионов. Однако в каждом направлении полоса Млечного Пути кажется относительно одинаковой яркости. Причина в том, что огромные облака затеняющей пыли (они составляют половину галактической массы) скрывают от нас центр Галактики. Вероятно, мы видим не больше чем $\frac{1}{10000}$ света галактического центра.

Это объясняет, почему Гершель и другие ученые думали, что наша Солнечная система расположена в центре Галактики, и также, почему Шепли первоначально переоценил ее размеры. Некоторые скопления звезд, которые он изучал, были тусклыми из-за пыли, цефеиды в них казались более тусклыми, а потому более отдаленными, чем в действительности.

Даже раньше, чем были определены размер и масса Галактики, цефеиды Магеллановых Облаков (изучая которые Генриетта Ливитт построила кривую зависимости блеска звезд от периода переменности) использовались, чтобы определить расстояние до

Облаков. Как оказалось, они расположены от нас на расстоянии больше 100 000 световых лет. Современные вычисления показывают, что расстояние до Большого Магелланова Облака приблизительно 150 000 световых лет, до Малого Магелланова Облака — 170 000 световых лет. Большое Облако — не больше половины нашей Галактики, а Малое Облако — не больше пятой ее части. Кроме того, они менее плотно заполнены звездами. Большое Магелланово Облако содержит 5 миллиардов звезд (только $\frac{1}{20}$ от их числа в нашей Галактике), в то время как Малое Магелланово Облако содержит только 1,5 миллиарда звезд.

К 1920 году диаметр Вселенной оценивали в 200 000 световых лет и считали ее состоящей из нашей Галактики и ее двух соседей. Естественно, возник вопрос относительно того, существует ли что-нибудь вне этого.

На небе можно наблюдать слабые туманные пятна, их называли туманностями. Французский астроном Шарль Мессье в 1781 году составил каталог, куда вошли 103 пятна. (Некоторые все еще известны под номерами, данными им, которым предшествовал символ «М», что означало Мессье.)

Были ли все эти пятна туманностями, каковыми казались? Некоторые, типа туманности в созвездии Орион (открытой в 1656 году нидерландским астрономом Христианом Гюйгенсом), оказались пыле-газовыми облаками массой примерно равной массе 500 солнц, подобных нашему, освещенными горячими звездами, содержащимися в них. Другие оказались шаровыми скоплениями — огромными семействами звезд.

Но там были и светящиеся туманности, в которых, казалось, вообще отсутствовали звезды. Почему же тогда они были светящимися? В 1845 году ирландский астроном Уильям Парсонс (лорд Росс), используя 72-дюймовый телескоп, на создание которого потратил всю жизнь, установил, что некоторые из этих звездных пятен имели спиральную структуру. Они получили название спиральная туманность; но это не могло объяснить источник яркости.

Наиболее захватывающее из этих пятен, известное как М31, или туманность Андромеды (потому что находится в созвездии Андромеды), впервые изучил в 1612 году немецкий астроном Симон Марий. Это удлинённый овал тусклого света, величиной приблизительно в половину полной Луны. Могла ли быть эта туманность составлена из звезд настолько отдаленных, что их невозможно различить даже при помощи самых мощных телескопов? Если так, то туманность Андромеды располагалась невероятно далеко и была невероятно большой, чтобы быть видимой вообще на таком расстоянии. (Еще в 1755 году немецкий философ и естествоиспытатель Иммануил Кант предположил существование таких отдаленных звездных групп, которые называл «звездные острова».)

В 1924 году американский астроном Эдвин Хаббл направил новый 100-дюймовый телескоп, установленный в Вильсоне, штат Калифорния, на туманность Андромеды. Новый мощный телескоп с высоким разрешением смог визуализировать в этой туманности отдельные звезды. Сразу стало ясно, что туманность Андромеды или, по крайней мере, ее часть похожа на Млечный Путь и что понятие «остров вселенной» имеет определенный смысл.

Среди звезд на краю туманности Андромеды были цефеиды, с помощью которых удалось определить, что туманность расположена от нас на расстоянии почти 2 миллиона световых лет.

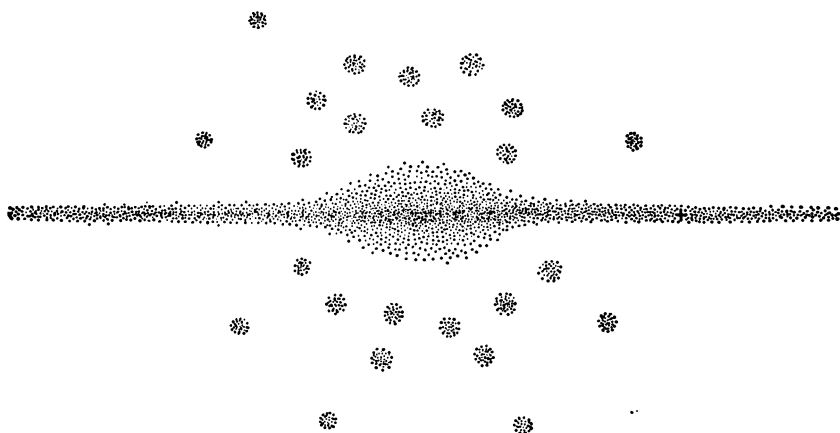
Другие туманности также оказались скоплениями звезд и находились намного дальше, чем туманность Андромеды. Они определили нашу собственную Галактику как одну из множества других, распространенных в пространстве. Таким образом, границы Вселенной расширились. Теперь Вселенную считали большей, чем когда-либо, — протяженностью сотни миллионов световых лет.

В течение 1930 года астрономы бились над несколькими загадками других галактик. С одной стороны, принимая в расчет расстояния до них, казалось, можно было предположить, что они намного меньше, чем наша Галактика. Казалось случайным совпадением, что мы населяем самую большую Галактику Вселенной. С другой стороны, шаровые скопления, окружающие галактику Андромеды, похоже, были только половиной или третьей частью, как и в нашей Галактике. Андромеда столь же богата шаровыми скоплениями, как наша Галактика, и ее скопления так же удалены от центра. Это доказывает, что предположение Шепли об устройстве нашей Галактики было верным. Некоторые галактики удивительно богаты шаровыми скоплениями. Галактика М87, в созвездии Дева, обладает по крайней мере тысячей.

Наиболее трудноразрешимой загадкой было то, что расстояния до галактик, казалось, подразумевали, что возраст Вселенной приблизительно 2 миллиарда лет. Между тем геологи считали Землю гораздо старше.

Ответ был найден, когда американский астроном немецкого происхождения Вальтер (Уолтер) Бааде обнаружил, что подход, который использовали для определения расстояния до галактик, был неправилен.

В 1942 году Бааде воспользовался преимуществами солнечного затмения, чтобы детально изучить галактику Андромеды с помощью 100-дюймового телескопа. При благоприятных условиях он сумел рассмотреть некоторые звезды внутренних областей галактики и отметил некоторые различия между этими звездами и звездами на окраине Галактики. Самые яркие звезды внутри ка-



Модель нашей Галактики. Шаровые скопления расположены вокруг ядра Галактики. Позиция нашего Солнца отмечена крестиком

зались красноватыми, тогда как те, которые находились на окраине, — синеватыми. При этом красные гиганты в центре не столь ярки, как синие гиганты на окраинах; последние имеют яркость в 100 000 раз большую, чем у нашего Солнца, а внутренние красные гиганты ярче его только в 1000 раз. Заметим, что окраины галактики Андромеды, где находятся яркие синие звезды, насыщены пылью, а внутренние области с менее яркими красными звездами — свободны от нее.

Бааде предположил, что в галактиках существует два типа звездного населения с различной структурой и историей. Он назвал синеватые звезды окраин населением I типа и красноватые звезды внутренних — населением II типа. Звезды населения I типа, как оказалось, относительно молоды, с высоким содержанием металла и движутся по круговым орбитам относительно галактического центра, образуя галактический диск. Звезды населения II типа относительно старые, с низким содержанием металла, с заметно эллиптическими орбитами и со значительным наклоном звезды сферической составляющей галактики.

После строительства 200-дюймового телескопа на горе Паломар после войны Бааде продолжил исследования. Он отметил некоторую последовательность в распределении звезд двух этих типов населения. Галактики, которые называли эллиптическими (системы в форме эллипса с довольно однородной внутренней структурой), очевидно, были сделаны главным образом из звезд населения II типа, как и шаровые скопления любой галактики. Спиральными называли галактики, имеющие вид двояковыпуклой линзы, на диске которой заметны спиральные рукава звездного населения I типа, на фоне населения II типа.

Оценено, что только около 2 процентов звезд во Вселенной принадлежат к звездному населению I типа. Солнце и звезды в окрестностях относим к этому типу. Исходя из этого факта, можно сделать вывод, что наша Галактика является спиральной и мы находимся в одном из таких спиральных рукавов (или ветвей). Галактика Андромеды тоже спиральная.

Сейчас давайте вернемся к критериям. Бааде стал сравнивать цефеиды, обнаруженные в шаровых скоплениях населения II типа, с теми, что были открыты в нашем спиральном рукаве (население I типа). Оказалось, что эти цефеиды различаются по периоду и яркости света. Цефеиды населения II типа соответствуют периоду яркости кривой, построенной Генриеттой Ливитт и Шепли. Исходя из этих критериев, Шепли определил размер нашей Галактики и размеры шаровых скоплений. Но цефеиды населения I типа подчинялись иным критериям. Цефеиды населения I типа были в 4—5 раз ярче, чем населения II типа в том же периоде. Это означало, что график Генриетты Ливитт повлечет ошибку в расчете абсолютной величины цефеид населения I типа от их периода. А если абсолютная величина окажется неправильной, неправильным будет и определенное расстояние. На самом деле звезда будет намного дальше, чем покажет вычисление.

Хаббл уточнил расстояние до галактики Андромеды по цефеидам (населения I типа). Оказывается, правильный размер галактики — приблизительно 2,5 миллиона световых лет, а не 1 миллион, как считали раньше. Другие галактики должны быть удалены в этой же пропорции. Тем не менее галактика Андромеды все еще наш близкий сосед. Среднее расстояние между галактиками составляет приблизительно около 20 миллионов световых лет.

Итак, размер Вселенной оказался больше в 2 раза. Это немедленно решило проблемы, которые не удалось преодолеть в 1930 году. Наша Галактика оказалась не больше остальных; например, галактика Андромеды превосходит ее по размерам. Стало ясно, что шаровые скопления галактики Андромеды имеют ту же яркость, что и нашего Млечного Пути, а кажутся менее яркими только из-за недооценки их размеров. Наконец, новый масштаб расстояний позволил Вселенной быть намного старше, по крайней мере на 5 миллиардов лет. По подсчетам геологов это соответствует возрасту Земли.

Уточнение расстояний до галактик само по себе не решает проблемы определения размера Вселенной. В связи с этим мы должны рассмотреть возможность существования еще больших систем — супергалактик.

Фактически современные телескопы показали, что супергалактики действительно существуют. Например, в созвездии Волосы

Вероники есть большая эллипсоидальная группа галактик диаметром приблизительно 8 миллионов световых лет. Данная группа состоит приблизительно из 11 000 галактик, разделенных расстоянием 300 000 световых лет (по сравнению со средним расстоянием 3 миллиона световых лет между галактиками в нашем окружении).

Наша Галактика тоже является частью группы, в которую входят Магеллановы Облака, галактика Андромеды, три спутника галактик плюс еще 19 других галактик.

В этой группе только наша собственная Галактика, гиганты Млечный Путь и Андромеда, все остальные значительно меньше. Одна из самых маленьких это IC1613, которая содержит всего 60 миллионов звезд. Среди галактик, как и среди звезд, маленькие численно превосходят гигантов.

Если галактики образуют группы и группы групп, означает ли это, что Вселенная бесконечна? Итак, астрономы сумели доказать наличие объектов во Вселенной на расстоянии до 9 миллиардов световых лет, нет пока ни одного признака конечности Вселенной. Рассмотрев пространство, следующим давайте рассмотрим время.

Рождение Вселенной

Творцы мифов изобрели множество фантастических теорий сотворения мира, обычно сосредоточивая внимание на земле, все остальное определяя как «небо» или «небеса». Сотворение мира, оказывается, относится к событиям не столь отдаленного прошлого, хотя мы должны помнить, что на людей, пребывающих на стадии, предшествующей грамотности, период времени в тысячу лет производил большее впечатление, чем для нас сегодня значит миллиард лет.

История сотворения мира, которая, конечно, знакома большинству из нас, дана в первых главах Книги Бытия, которая, по убеждению некоторых людей, представляет собой переложение вавилонских мифов, поэтизированных и поднятых в моральном величии.

Предпринимались попытки определить дату сотворения мира на основании данных, представленных в Библии (времена правления различных царей, период от Исхода до посвящения храма Соломона, времена патриархов, рожденных до и после Великого потопа). Средневековые еврейские ученые за дату сотворения мира принимают 3760 год до нашей эры, а еврейский календарь ведет отсчет лет от этой даты. В 1658 году нашей эры архиепископ Джеймс Ашер из Англиканской церкви вычислил, что 8 часов утра 22 октября 4004 года до нашей эры — это точная дата сотворения мира. Некоторые теологи Греческой православной церкви относят эту дату к 5508 году до нашей эры.

Даже в конце XVIII века библейская версия была принята просвещенным миром, и возраст Вселенной оценивался максимально в шесть или семь тысяч лет. Эта точка зрения впервые была подвергнута сомнению в 1785 году, с выходом книги «Теория Земли», написанной шотландским натуралистом Джеймсом Хаттоном. Хаттон утверждал, что медленные естественные процессы, происходящие на поверхности Земли (образование и выветривание гор, уменьшение каналов рек и тому подобные), шли примерно с одинаковой скоростью на протяжении всей истории Земли. Этот «принцип единообразия» подразумевал, что процессы должны были длиться в течение огромного периода времени для того, чтобы в результате получился наблюдаемый феномен. Следовательно, возраст Земли должен исчисляться не тысячами, а многими миллионами лет.

Взгляды Хаттона были немедленно высмеяны, однако получили продолжение. В начале 30-х годов XIX века британский геолог Чарльз Лаелл вновь подтвердил взгляды Хаттона, представив в своей трехтомной работе «Принципы геологии» доказательства с такой ясностью и силой, что мир науки вынужден был признать его правоту. Современная геологическая наука может начинать отсчет своего существования от этой работы.

Предпринимались попытки вычислить возраст Земли на основании принципа единообразия. Например, если известно количество осадков, оседающих в результате действия воды каждый год (современная оценка — 1 фут за 880 лет), можно вычислить возраст осадочной породы по ее толщине. Вскоре стало очевидно, что подобный подход не позволяет точно определить возраст Земли, поскольку следы на породе стирались выветриванием, выкрашиванием, сдвигами и другими силами. Тем не менее даже недостаточные доказательства приводили к выводу, что возраст Земли, как минимум, 500 миллионов лет.

Другим способом определения возраста Земли, впервые выдвинутым английским астрономом Эдмундом Хелли в 1715 году, была оценка скорости накопления соли в океанах. Реки постоянно выносят соль в море; поскольку при испарении исчезает только пресная вода, концентрация соли растет. Предполагая, что океан зародился пресноводным, период, необходимый для того, чтобы реки наполнили его солью более чем на 3 процента, мог составлять не менее миллиарда лет.

Этот значительный возраст согласовывался с данными биологов, которые в течение последней половины XIX века пытались проследить развитие живых организмов от примитивных одноклеточных существ до сложных высших животных. Им были необходимы продолжительные периоды времени для того, чтобы произошло это развитие, и миллиарда лет для этого вполне достаточно.

Однако к середине XIX века астрономы подняли интересную проблему в отношении Солнца. Солнце выделяло энергию в ко-

лоссальных количествах, и это происходило на протяжении всей истории. Если Земля существовала в течение бесчисленного множества лет, откуда приходила вся эта энергия? Она не могла поступать из обычных источников, знакомых человечеству. Если бы Солнце образовалось как твердый уголь, горящий в атмосфере кислорода, оно должно было бы превратиться в пепел примерно за 2500 лет.

Немецкий физик Герман Людвиг Фердинанд Гельмгольц одним из первых сформулировал закон сохранения энергии. Особенно он заинтересовался проблемой Солнца. В 1854 году он подчеркивал, что, если бы Солнце сокращалось, его масса накапливала бы энергию по мере сжатия к центру гравитации, как камень накапливает энергию при падении. Эта энергия могла быть преобразована в излучение. Гельмгольц вычислил, что сокращение радиуса Солнца лишь на одну десятитысячную могло бы сообщить ему энергию, которой хватило бы на 2000 лет.

Британский физик Уильям Томсон (впоследствии лорд Кельвин) еще глубже изучил эту проблему и пришел к выводу, что возраст Земли не может составлять более 50 миллионов лет, поскольку, учитывая скорость, с которой Солнце выделяло энергию, оно должно было сократиться от гигантского размера, изначально сравнимого с орбитой Земли вокруг Солнца. Это означало, что Венера должна быть моложе Земли, а Меркурий — еще моложе. Лорд Кельвин продолжил исследования, чтобы оценить, что, если бы Земля сама образовалась как расплавленная масса, время, необходимое для ее остывания до настоящей температуры, и, следовательно, ее возраст должны быть около 20 миллионов лет.

К 90-м годам XIX века казалось, что две непобедимые армии разделены линией фронта. Физики доказывали, что Земля не могла находиться в твердом состоянии больше миллиона лет, в то время как геологи и биологи так же неопровержимо доказывали, что Земля находится в твердом состоянии не менее миллиарда лет.

А затем произошло нечто новое, совершенно неожиданное, и физики обнаружили, что их теория рушится.

В 1896 году открытие радиоактивности сделало ясным то, что уран в недрах земли и другие радиоактивные вещества освобождали значительные количества энергии, и это происходило в течение длительного времени. Вычисления Кельвина бессмысленны — впервые заметил в 1904 году британский физик новозеландского происхождения Эрнест Резерфорд, на лекции, где присутствовал сам пожилой Кельвин.

Нет смысла пытаться решить, сколько потребовалось бы времени для того, чтобы Земля остыла, если не принимать в расчет тот факт, что снабжение теплом идет постоянно за счет радиоактивных веществ. С учетом новоявленного фактора остывание Зем-

ли от расплавленной массы до ее настоящей температуры могло занять скорее миллиарды, чем миллионы лет. Земля могла даже нагреваться с течением времени.

Радиоактивность сама по себе предоставляла наиболее неопровержимые доказательства возраста Земли, поскольку позволяла геологам и геохимикам вычислять возраст скал непосредственно по количеству урана и свинца, содержащихся в них. В соответствии с вычислениями по радиоактивности теперь известно, что возраст некоторых скал приблизительно 4 миллиарда лет, и существуют все основания полагать, что возраст Земли еще больше. В настоящее время наиболее вероятный возраст Земли в ее твердой форме принимается равным 4,7 миллиарда лет.

А что же Солнце? Радиоактивность, вместе с открытиями, связанными с атомным ядром, явилась новым источником энергии, гораздо более мощным, чем все известные ранее. В 1930 году британский физик сэр Артур Эддингтон предположил, что температура в центре Солнца должна быть около 15 миллионов градусов. При таких температурах и высоком давлении ядра атомов могут вступать в реакции, которые не могли бы происходить в среде Земли. Известно, что Солнце в значительной степени состоит из водорода. Если объединяются четыре ядра водорода, образуя атом гелия, они высвобождают значительное количество энергии.

В 1938 году американский физик немецкого происхождения Ханс Альбрехт Бете открыл возможные способы, посредством которых водород мог превращаться в гелий. Существовало два процесса, с помощью которых это могло происходить в центре таких звезд, как Солнце: первый — непосредственное преобразование водорода в гелий; второй — когда атом углерода был промежуточной стадией процесса. Внутри звезд может происходить любой набор реакций; на Солнце, вероятно, преобладает механизм прямого преобразования водорода. Оба способа приводят к преобразованию массы в энергию. Эйнштейн в своей теории относительности показал, что масса и энергия могут превращаться одно в другое; более того, значительная часть энергии способна высвободиться с помощью преобразования небольшого количества массы.

Скорость излучения энергии Солнцем требует исчезновения солнечной массы со скоростью 4,2 миллиона тонн в секунду. На первый взгляд эта потеря кажется угрожающей, но общая масса Солнца составляет 2 200 000 000 000 000 000 000 000 тонн, поэтому каждую секунду оно теряет только 0,000000000000000002 процента своей массы. Предполагая, что Солнце существует 6 миллиардов лет, в чем в настоящий момент убеждены астрономы, и если оно излучает энергию с постоянной скоростью все это время, к настоящему моменту оно утратило только $\frac{1}{40000}$ своей

массы. Значит, легко увидеть, что Солнце может продолжать излучать энергию с прежней скоростью в течение следующих миллиардов лет.

К 1940 году возраст Солнечной системы как единого целого, равный 6 миллиардам лет, представлялся обоснованным. Мог разрешиться вопрос о возрасте Вселенной, но астрономы вставили еще одну палку в колесо. Теперь Вселенная оказалась слишком молодой относительно Солнечной системы. Проблема возникла из-за исследования дальних галактик астронавтами и из-за феномена, впервые открытого австрийским физиком Кристианом Иоганном Доплером в 1842 году.

Эффект Доплера достаточно известен; в самом общем случае он иллюстрируется тем, что тон свистка проходящего локомотива повышается при его приближении и снижается при удалении. Изменение тона объясняется тем, что число звуковых волн, достигающих барабанной перепонки за секунду, изменяется из-за движения источника звука.

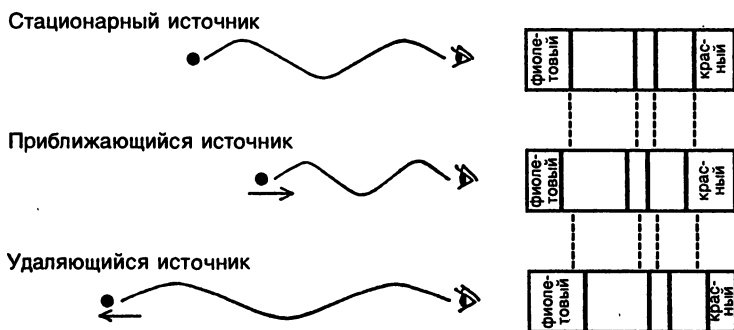
Как предполагал Доплер, подобный эффект свойственен как звуковым, так и световым волнам. Когда свет достаточно быстро движущегося источника достигает глаза, происходит смена частоты, то есть цвета. Если источник приближается к нам, воспринимаемый свет смещается к высокочастотной фиолетовой части видимого спектра. Если же источник удаляется, за секунду до глаза доходит меньше световых волн и свет смещается к низкочастотной красной части спектра.

Астрономы, изучающие спектры звезд в течение длительного времени, хорошо знакомы с такой картиной — набор ярких линий на темном фоне или темных линий на ярком фоне, показывающий распределение или поглощение света атомами при определенных длинах волн, или цветах. Они смогли вычислить скорость звезд, движущихся по направлению к нам или удаляющихся от нас (то есть радиальную скорость), на основании смещения линий спектра по направлению к фиолетовой или красной его границе.

Французский физик Арман Ипполит Луи Физо в 1848 году указал на то, что эффект Доплера относительно света лучше всего наблюдать, отмечая положение линий спектра. По этой причине эффект Доплера называется эффектом Доплера-Физо, когда дело касается света.

Эффект Доплера—Физо в нашей Солнечной системе может быть использован для демонстрации вращения Солнца по-новому. Линии спектра, исходящие из середины Солнца, приближающегося к нам в ходе вибраций, будут смещаться к фиолетовой границе (фиолетовое смещение). Линии из другого центра будут показывать красное смещение по мере удаления центра.

Для достоверности скажем, что движение солнечных пятен — лучший и более очевидный способ определения и измерения



Эффект Доплера—Физо. Линии спектра смещаются к фиолетовой границе (слева), если источник света приближается. Если же источник удаляется, линии спектра смещаются к красной границе (справа)

вращения Солнца, период оборота которого относительно звезд составляет 25 дней. Однако этот эффект может быть использован для определения вращения объектов, лишенных характерных черт, например колец Сатурна.

Эффект Доплера—Физо применим к объектам, находящимся на любом расстоянии, но настолько большом, что эти объекты могут образовывать спектр для исследования. Следовательно, наиболее значительные достижения этого эффекта связаны с изучением звезд.

В 1868 году британский астроном сэр Уильям Хаггинс измерил радиальную скорость Сириуса и объявил о том, что он движется, удаляясь от нас, со скоростью 29 миль в секунду. (Сейчас имеются более точные данные, но для первой попытки его данные были достаточно точны.) К 1890 году американский астроном Джеймс Эдуард Килер, используя более совершенные измерительные приборы, предоставил более точные количественные данные; например, он показал, что Арктур приближается к нам со скоростью 3,75 мили в секунду.

Эффект можно применять даже для определения существования систем звезд, подробности которых нельзя определить с помощью телескопа. Например, в 1782 году английский астроном Джон Гудрайк (совершеннейший мозг в больном теле — глухонемой от рождения. Он умер в возрасте 22 лет) исследовал звезду Алголь, яркость которой регулярно увеличивалась и уменьшалась. Гудрайк объяснил это, выдвинув предположение о том, что у Алголя имеется темная сопровождающая звезда, вращающаяся вокруг него. Периодически темная звезда проходила перед Алголем, затмевая его и уменьшая его свет.

Прошел целый век до того, как в пользу вероятной гипотезы были представлены дополнительные доказательства. В 1889 году немецкий астроном Герман Карл Фогель продемонстрировал, что

линии спектра Алголя подвергались поочередным красным и фиолетовым смещениям, совпадавшим с увеличением и уменьшением ее яркости. Сначала он удалялся по мере того, как темная звезда приближалась, а затем приближался, в то время как темная звезда удалялась. Алголь оказался затменно-двойной звездой.

В 1890 году Фогель сделал аналогичное и более общее открытие. Он обнаружил, что некоторые звезды как приближались, так и удалялись. То есть линии спектра показывали и красное, и фиолетовое смещение, с вероятностью удвоения. Фогель интерпретировал это как признак того, что звезда являлась затменно-двойной с двумя звездами (причем обе были светлыми), настолько близко расположенными друг к другу, что выглядели одиночной звездой даже в лучших телескопах. Подобные звезды считаются спектроскопически двойными.

Однако не было никакой необходимости ограничивать действие эффекта Доплера—Физо звездами нашей Галактики. Объекты, расположенные за пределами Млечного Пути, также можно было исследовать этим способом. В 1912 году американский астроном Весто Мелвин Слайфер при измерении радиальной скорости галактики Андромеды обнаружил, что она приближается к нам со скоростью приблизительно 125 миль в секунду. Исследования других галактик показали, что большинство их удаляется от нас. К 1914 году у Слайфера имелись данные по 15 галактикам; из них 13 удалялись со скоростью порядка сотен миль в секунду.

По мере того как исследования двигались по этому пути, ситуация становилась все более удивительной. За исключением нескольких ближайших галактик, все остальные удалялись от нас. Более того, по мере развития технологий, позволивших исследовать более удаленные галактики, красное смещение увеличивалось.

В 1929 году Хаббл, работавший в Маунт-Уилсоне, предположил, что существовало регулярное увеличение скорости удаления, пропорциональное расстоянию до данной галактики. Если галактика А находилась в два раза дальше, чем галактика Б, то галактика А удалялась со скоростью в два раза большей скорости удаления галактики Б. Иногда это отношение называют законом Хаббла.

Конечно, законом Хаббла продолжали пользоваться при исследованиях. Начиная с 1929 года Милтон Хьюмасон в Маунт-Уилсоне использовал 100-дюймовый телескоп для получения спектров все более и более затемняющих галактик. Наиболее удаленные галактики, которые он мог исследовать, удалялись со скоростью 25 000 миль в секунду. Когда в обращение вошел 200-дюймовый телескоп, это позволило исследовать еще более удаленные галактики, и к 1960-м годам были обнаружены объекты, скорость удаления которых составляла до 150 000 миль в секунду.

Почему это происходило? Представим себе резиновый шар с небольшими точками, нанесенными на него. Когда шар надувают, точки удаляются друг от друга. Для человека, стоящего в одной из этих точек, все другие точки будут казаться удаляющимися, и чем дальше от него находилась определенная точка, тем быстрее она будет удаляться. Не имеет значения, на какой именно точке он стоит, эффект в любом случае будет одинаковым.

Галактики ведут себя таким образом, как если бы Вселенная расширялась подобно надуваемому шару. Теперь астрономы следуют общепринятому факту этого расширения, и «уравнения поля» Эйнштейна в его общей теории относительности можно построить таким образом, чтобы они соответствовали расширению Вселенной.

Однако эта ситуация порождает более глубокие вопросы. Имеет ли видимая Вселенная пределы? Самые далекие объекты, которые мы теперь имеем возможность видеть (на расстоянии около 9 миллиардов световых лет), удаляются от нас со скоростью, равной четырем пятым скорости света. Если закон Хаббла об увеличении скорости удаления действует, то на расстоянии около 11 миллиардов световых лет от нас галактики удаляются со скоростью, равной скорости света. Однако согласно теории Эйнштейна скорость света максимально возможная скорость. Значит ли это, что не может быть других, более удаленных видимых галактик?

Существует также вопрос возраста. Если Вселенная постоянно расширялась, то логично предположить, что в прошлом она была меньше, чем сейчас, и что в определенный момент в далеком прошлом она зарождалась как плотное ядро материи. Именно в этом заключается конфликт, связанный с возрастом Вселенной, появившийся в 1940-х годах. Исходя из скорости расширения и существующей удаленности галактик, получалось, что возраст Вселенной не мог превышать 2 миллиардов лет. Однако геологи благодаря использованию радиоактивности теперь были убеждены в том, что возраст Земли, как минимум, около 4 миллиардов лет.

К счастью, проверка по блеску цефеид в 1952 году спасла ситуацию. Удваивая, а возможно, утраивая размеры Вселенной, она удваивала или утраивала ее возраст, и, таким образом, теперь горные породы и красное смещение спектра согласовывались с тем, что и Солнечной системе, и галактикам от 5 до 6 миллиардов лет.

К 1960-м годам в этой ситуации снова произошла определенная путаница. Британский астроном Фред Хойл после проведения анализа возможного состава звезд населения I типа и населения II типа пришел к выводу, что из двух процессов, с помощью которых звезды образуют водород для формирования гелия, более медленный был преобладающим. На этом основании

он оценил, что некоторые звезды должны иметь возраст, как минимум, 10, а возможно, и 15 миллиардов лет. Затем американский астроном Алан Сэндидж обнаружил, что звезды в скоплении, называемом NGC 188, появились, как минимум, 24 миллиарда лет назад, в то время как американский астроном швейцарского происхождения Фриц Цвикки размышлял о возрасте, равном миллиону миллиардов лет. Такой возраст не противоречил бы доказательствам, представленным горными породами Земли, поскольку Земля могла быть моложе Вселенной, но, если Вселенная расширялась в процентном соотношении в течение 24 миллиардов лет или более, она должна была быть более обширной, чем есть на самом деле. Таким образом, у астрономов имеется новая проблема, требующая разрешения.

Принимая, что Вселенная расширяется и что уравнения поля Эйнштейна согласуются с такой интерпретацией, неминуемо встает вопрос: почему? Самое простое, неизбежное объяснение заключается в том, что расширение происходит в результате взрыва в самом начале. В 1927 году бельгийский математик Жорж Леметр предположил, что все началось с очень плотного «космического яйца», которое взорвалось и таким образом положило начало Вселенной в том виде, в котором мы знаем ее. Фрагменты начальной среды сформировали галактики, которые продолжают разлетаться во всех направлениях в результате этого невероятного по силе взрыва, произошедшего миллиарды лет назад.

Американский физик российского происхождения Георгий Гамов развил эту идею. Его вычисления привели его к выводу, что различные элементы в том виде, в котором мы их знаем, сформировались в течение первых 30 минут после взрыва. В течение 250 миллионов лет после взрыва излучение являлось преобладающей формой материи, и материя Вселенной вследствие этого оставалась тонко распыленным газом. Однако после достижения критической отметки материя стала преобладающей и начала уплотняться в начала галактик. Гамов убежден, что расширение, возможно, продолжится до того момента, когда все галактики, за исключением тех, которые находятся в нашем скоплении, удалятся за пределы досягаемости самых мощных приборов. Тогда мы останемся во Вселенной одни.

Откуда взялась материя «космического яйца»? Некоторые астрономы выдвигают предположение, что Вселенная зародилась в виде крайне тонкого газа, постепенно сжималась под действием гравитации до сверхплотной массы и затем взорвалась. Другими словами, она началась вечность назад в виде практически полной пустоты, прошла стадию уплотнения до «космического яйца», взорвалась и проходит стадию обратного расширения до практически полной пустоты. Нам всего лишь повезло жить в течение временного периода (мгновенного по сравнению с вечностью) полного насыщения Вселенной.

Другие астрономы, особенно У.Б. Боннор из Англии, утверждают, что Вселенная прошла бесконечное количество циклов, каждый из которых продолжался, возможно, десятки миллиардов лет — другими словами, это «колеблющаяся Вселенная». В 1965 году Сэндидж предположил, что период каждого колебания составляет 82 миллиарда лет.

Просто Вселенная или расширяется, или уплотняется и затем расширяется, или колеблется — все эти теории подразумевают «эволюционное развитие Вселенной».

В 1948 году британские астрономы Херман Бонди и Томас Голд выдвинули теорию, расширенную и популяризированную другим британским астрономом, Фредом Хойлом, которая не допускала эволюционного развития. Их Вселенная называется «Вселенной в неизменном состоянии», или «Вселенной постоянного создания». Они соглашались с тем, что галактики удаляются и что Вселенная расширяется. Когда наиболее удаленные галактики достигнут скорости света и свет от них не сможет добраться до нас, можно будет сказать, что они покинули Вселенную. Однако в то время как галактики и скопления галактик нашей Вселенной удаляются, новые галактики постоянно формируются среди старых. Следовательно, Вселенная остается в неизменном состоянии, с галактиками, имеющими одну и ту же плотность в космосе.

Конечно, новая материя должна создаваться постоянно для того, чтобы замещать исчезающие галактики, и подобного формирования обнаружено не было. Однако этот факт неудивителен. Для того чтобы поставлять новую материю для формирования галактик с необходимой скоростью, требуется, чтобы лишь один атом водорода формировался в год в миллиарде литров пространства. Это формирование имеет слишком медленную скорость для того, чтобы быть зарегистрированным теми приборами, которые на сегодняшний день имеются в нашем распоряжении.

Если мы предположим, что материя формируется постоянно, с любой самой медленной скоростью, мы должны задать вопрос: откуда берется эта новая материя? Что происходит с законом сохранения массы и энергии? Конечно, материя не может создаваться из ничего. Хойл отвечает, что энергия, необходимая на создание новой материи, может перекачиваться из энергии расширения. Другими словами, Вселенная может расширяться немного быстрее, чем она расширялась бы, если бы не создавалась новая материя, и новая материя формировалась бы за счет энергии, высвобожденной при расширении.

Спор между сторонниками эволюционирующей и постоянной Вселенной получился жарким. Лучшим способом разрешить эти две теории было бы исследование наиболее удаленных от нас на миллиарды световых лет уголков Вселенной.

Если теория постоянства Вселенной верна, то Вселенная в значительной мере одинакова повсюду и ее внешний вид за мил-

лиарды световых лет от нас должен быть таким же, как ее внешний вид около нас. Однако согласно эволюционной теории Вселенная за миллиарды световых лет от нас видна как свет, сформированный миллиарды лет назад. Этот свет сформировался, когда Вселенная была молодой, вскоре после грандиозного взрыва. То, что мы видим в молодой Вселенной, должно значительно отличаться от того, что мы видим вокруг себя там, где Вселенная стара.

К сожалению, сложно точно сказать, что мы видим в телескоп в очень далеких галактиках, и до 60-х годов прошлого века собранной на эту тему информации было недостаточно. Когда наконец начали появляться доказательства, они включали (как мы позже увидим) излучение, отличное от излучения обычного света.

Гибель Солнца

Развивается ли Вселенная эволюционно или находится в неизменном состоянии — это вопрос, не оказывающий непосредственного влияния на галактики или скопления галактик. Даже если все далекие галактики удаляются и будут удаляться до тех пор, пока не исчезнут из поля видимости самых совершенных приборов, наша собственная Галактика останется нетронутой и звезды, ее образующие, будут устойчиво удерживаться в ее гравитационном поле. Не покинут нас также и галактики местных скоплений. Однако изменения в нашей Галактике, возможно гибельные для нашей планеты, никоим образом не исключены.

Вся концепция изменения небесных тел современна. Древнегреческие философы, в частности Аристотель, были убеждены в том, что небеса совершенны и неизменны. Все изменения, разложение и распад приписывались несовершенным областям, лежащим ниже самой нижней сферы — Луны. Это казалось несомненным фактом, поскольку определенно из поколения в поколение и из века в век не происходило значительных изменений в небесной сфере. Конечно, существовали таинственные кометы, которые время от времени появлялись ниоткуда, — неравномерные в своих появлениях, похожие на призраки, проносящиеся между звездами, имеющие устрашающий вид, с их хвостами напоминали развевающиеся волосы обезумевшего существа, предвещающего зло (на самом деле слово «комета» происходит от латинского слова «волосы»). Примерно 25 этих небесных тел видны невооруженным глазом раз в столетие.

Аристотель пытался увязать эти видения, связанные с совершенством небес, утверждая, что они принадлежат к атмосфере разрушаемой и изменяющейся Земли. Эта точка зрения преобладала до конца XVI века. Однако в 1577 году датский астроном

Тихо Браге сделал попытку измерить параллакс яркой кометы и обнаружил, что его невозможно измерить (это происходило до появления телескопа). Поскольку параллакс Луны было *возможно* измерить, Тихо Браге был вынужден заключить, что комета располагалась гораздо дальше Луны и что на небесах происходят изменения и отсутствует совершенство. (Римский философ Сенека предполагал это еще в I веке до нашей эры.)

В действительности изменения даже на звездах замечались гораздо раньше, но они, по-видимому, не вызывали большого любопытства. Например, существуют переменные звезды, которые значительно изменяют свою яркость от ночи к ночи, что видно даже невооруженным глазом. Ни один из греческих астрономов никогда не обращался к изменениям яркости каких-либо звезд. Возможно, до нас не дошли записи об этих изменениях. Не исключена вероятность, что греческие астрономы предпочитали не замечать этого феномена. Одним из интересных случаев является Алголь, вторая по яркости звезда в созвездии Персей, которая неожиданно теряет две трети своей яркости, затем восстанавливает ее, и это происходит регулярно каждые 69 часов. (Теперь мы знаем, что благодаря Гудрайку и Фогелю обнаружена сопутствующая Алголю темная звезда, которая затмевает его каждые 69 часов.) Греческие астрономы не упоминали о затмении Алголя, как и арабские астрономы Средневековья. Тем не менее греки ставили эту звезду во главе Медузы, демона, который превращал людей в камень, и само название «Алголь», происходящее из арабского языка, означает «вампир». Ясно, что древние настороженно относились к этой странной звезде.

Звезда в созвездии Кит, называемая Омикрон-Цети, изменяется нерегулярно. Иногда она такая же яркая, как Полярная звезда; иногда она исчезает из вида. Ни греки, ни арабы ни словом не упоминают о ней, и первым, кто сообщил об этой звезде в 1596 году, был датский астроном Давид Фабрициус. Затем она была названа Мира (по-латыни «чудесная»), что отражало тот факт, что астрономы стали меньше бояться изменений в небесной сфере.

Еще более замечательным было внезапное появление «новых звезд» на небе. Греки не могли этого всецело не замечать. Говорят, что Гиппарх находился настолько под впечатлением от наблюдения такой новой звезды в созвездии Скорпион в 134 году нашей эры, что создал первую звездную карту, с тем чтобы новые звезды в будущем было проще определять.

В 1054 году до нашей эры в созвездии Телец была замечена другая новая звезда феноменальной яркости. Она превосходила по яркости Венеру, и в течение недель ее можно было видеть при свете дня. Китайские и японские астрономы тщательно зафиксировали ее положение, и их записи дошли до нас. Однако в это время на Западе астрономия была в настолько неразвитом состоянии, что в Европе не найдено ни одного упоминания об этом

замечательном событии, возможно, потому, что ни одно такое упоминание не сохранилось.

По-другому сложилась ситуация в 1572 году, когда новая звезда, такая же яркая, как в 1054 году, появилась в созвездии Кассиопея. Европейская астрономия пробуждалась от долгой спячки. Молодой Тихо Браге тщательно исследовал новую звезду и написал книгу, названную «*De Nova Stella*» («Новая звезда»). Именно из названия этой книги слово «nova» было принято для обозначения любых новых звезд.

В 1604 году появилась другая замечательная новая звезда в созвездии Змея. Она не была такой яркой, как звезда, появившаяся в 1572 году, но достаточно яркой, чтобы перекрыть яркость Марса. Иоганн Кеплер наблюдал ее, а затем написал о ней книгу.

После изобретения телескопа новые звезды стали менее таинственными. Конечно, они не были новыми; просто слабыми звездами, которые неожиданно сделались настолько яркими, что их стало возможным заметить.

Все большее число новых звезд открывалось с течением времени. Они светили с тысячекратной силой, иногда в течение нескольких дней, а затем медленно меркли до своего предыдущего состояния. Новые звезды появлялись со средней скоростью 20 штук в год в одной галактике (включая и нашу Галактику).

Из исследований смещения Доплера—Физо, которые происходили во время формирования новых звезд, и из некоторых других точных деталей их спектров стало ясно, что новые звезды — это взрывающиеся звезды. В некоторых случаях вещество, из которого эти звезды состояли, можно было наблюдать как оболочку расширяющегося газа, подсвеченную остатками звезды. Такие звезды называются газовыми туманностями.

Этот вид формирования новых звезд не обязательно означает гибель звезды. Конечно, это грандиозная катастрофа, поскольку яркость такой звезды может увеличиться в миллионы раз за день. (Если бы Солнце стало новой звездой, оно уничтожило бы всю жизнь на Земле и, возможно, превратило бы нашу планету в пар.) Однако взрыв, очевидно, выбрасывает лишь от одного до двух процентов массы звезды, и затем звезда возвращается к обычному существованию. На самом деле многие звезды периодически подвергаются подобным взрывам и продолжают жить.

Наиболее замечательной новой звездой, которая появилась после изобретения телескопа, была звезда, открытая немецким астрономом Эрнстом Харвигом в галактике Андромеды в 1885 году и названная «S Андромеда». Она была ниже границы видимости невооруженным глазом; в телескоп ее яркость определялась как десятая часть яркости всей галактики Андромеды. В то время никто не представлял, насколько далека галактика Андромеды или насколько она велика, поэтому яркость новой звезды не

казалась особенно выдающейся. Но после того, как Хаббл вычислил расстояние до галактики Андромеды, яркость этой звезды неожиданно взволновала астрономов. Хаббл наконец обнаружил ряд новых звезд в галактике Андромеды, но ни одна из них не приблизилась по яркости к новой звезде, открытой в 1885 году. Она была в 10 000 раз ярче, чем обычная новая звезда. Это была сверхновая звезда. Глядя в прошлое, мы понимаем, что новые звезды, открытые в 1054, 1572 и 1604 годах, также были сверхновыми. И больше того, они должны были находиться в нашей Галактике, которая могла учитывать их крайнюю яркость. В 1965 году Бернард Гольдштейн из Йельского университета представил доказательства того, что четвертая сверхновая звезда в нашей Галактике, вероятно, вспыхнула в 1006 году, если принять во внимание неясные свидетельства египетского астролога того времени.

Очевидно, сверхновые звезды значительно отличаются по физическому поведению от обычных новых звезд, и астрономы стремятся подробно изучить их спектры. Основная сложность заключается в том, что они крайне редки. В соответствии с расчетами Цвикки около трех таких звезд в тысячу лет в одной галактике — такова средняя частота их появления. Хотя астрономам удалось установить около 50 таких звезд, все они находятся в дальних галактиках и не могут быть исследованы в подробностях. Сверхновая звезда в галактике Андромеды, открытая в 1885 году, наиболее близко к нам расположенная, появилась за несколько десятилетий до того, как была полностью принята фотография в астрономии, то есть не существует постоянных данных о ее спектре. (Однако распределение сверхновых звезд во времени случайно. Недавно в одной галактике три сверхновых звезды были обнаружены всего за 17 лет. Можно считать, астрономам крупно повезло.)

Яркость сверхновой звезды (абсолютные значения варьируются от 14 до 17) могла стать такой только в результате полного взрыва — звезда буквально разрывается на части. Что происходит с такой звездой? Давайте вернемся немного назад...

Еще в 1834 году Бессель (астроном, который впоследствии первым измерил параллакс звезды) заметил, что Сириус и Прокцион очень незначительно изменяют свое положение из года в год, способом, который, казалось, не имеет отношения к движению Земли. Линия их движения была не прямой, а волнистой, и Бессель решил, что каждая из них на самом деле движется по орбите вокруг чего-то.

Из способа, которым Сириус и Прокцион двигались по этим орбитам, следовало, что это «что-то» в каждом случае должно было иметь мощное гравитационное притяжение, которым не могло обладать ничто, кроме звезды. В частности, спутник Сириуса должен был быть таким же массивным, как Солнце, учи-

тывая движение яркой звезды. Поэтому было решено, что эти спутники — звезды, но, поскольку они были невидимы в телескоп в то время, их называли «темными спутниками». Считалось, что это старые звезды, которые со временем становятся более темными.

Затем, в 1862 году, американский создатель приборов Алван Кларк, испытывая новый телескоп, заметил затемненную звезду около Сириуса, и дальнейшие исследования подтвердили, что это была сопровождающая звезда. Сириус и затемненная звезда вращались около общего центра гравитации с периодом около 50 лет. Спутник Сириуса (теперь он называется Сириус Б, а сам Сириус — Сириус А) имеет абсолютную величину только 11,2 и поэтому имеет яркость только в $1/400$ яркости Солнца, хотя настолько же массивен.

Это все, казалось, соответствовало умирающей звезде. Однако в 1914 году американский астроном Уолтер Сидни Адамс, после изучения спектра Сириуса Б, решил, что звезда должна была быть такой же горячей, как и сам Сириус А, и горячее Солнца. Атомные вибрации, которые вызывали определенное поглощение линий, находящихся в спектре, могли происходить только при очень высоких температурах. Но если Сириус Б был настолько горяч, почему его свет был настолько слабым? Единственным возможным ответом было то, что он был значительно меньше Солнца. Будучи горячее, он излучал больше света с единицы поверхности, но, учитывая небольшое общее количество света, его общая поверхность должна была быть небольшой. На самом деле звезда не могла быть больше 16 000 миль в диаметре — только вдвое больше диаметра Земли. Однако Сириус Б имел массу, равную массе Солнца! Адамс пытался представить, что эта масса уместается в объеме, равном объему Сириуса Б. Плотность звезды должна была быть примерно в 3000 раз больше, чем плотность платины.

Это представляло собой не что иное, как совершенно новое состояние материи. К счастью, к этому времени у физиков не возникло проблем с предложением своего ответа. Они знали, что в обычной материи атомы состоят из очень маленьких частиц, настолько маленьких, что большинство объема атома заполнено «пустым» пространством. При крайнем давлении субатомные частицы могли упаковываться в сверхплотную массу. Однако даже в сверхплотном Сириусе Б субатомные частицы находятся достаточно далеко друг от друга, свободно перемещаясь, и, таким образом, будучи даже значительно плотнее платины, вещество ведет себя как газ. Английский физик Ральф Говард Фаулер предположил в 1925 году, что оно должно называться «вырожденным газом», а советский физик Лев Давидович Ландау указал в 1930 году, что даже обычные звезды, такие, как Солнце, должны состоять в центре из вырожденного газа.

Спутник Проциона (Процион Б), впервые обнаруженный в 1896 году Дж.М. Шаберле в обсерватории Лик, также оказался сверхплотной звездой, хотя и имевшей массу только в пять восьмых от массы Сириуса Б, и с течением времени находились все новые примеры. Эти звезды называются «белыми карликами», поскольку они совмещают в себе небольшие размеры с высокими температурами и белым светом. Белых карликов, возможно, достаточно много, и они составляют до 3 процентов всех звезд. Однако из-за своих небольших размеров возможность быть обнаруженными в ближайшем будущем имеют лишь те из них, которые находятся по соседству с нами. (Существуют также «красные карлики», значительно меньшие по размерам, чем Солнце, но не такие маленькие, как белые карлики. Красные карлики холодные и имеют обычную плотность. Они могут быть наиболее обычными среди всех звезд, но из-за их затемненности их труднее обнаруживать, чем белые карлики. Пара красных карликов на расстоянии 6 световых лет от Земли была обнаружена в 1948 году. Из 36 звезд, которые находятся на расстоянии 14 световых лет от Солнца, 21 является красным карликом, а 3 — белыми карликами. Среди них нет гигантов, и только две из них, Сириус и Процион, заметно ярче, чем Солнце.)

Спустя год после того, как были обнаружены удивительные свойства Сириуса Б, Альберт Эйнштейн представил свою Общую теорию относительности, которая главным образом касалась новых подходов к взглядам на гравитацию. Взгляды Эйнштейна на гравитацию привели к предсказанию того, что свет, излучаемый источником, обладающим сильным гравитационным полем, должен перемещаться в сторону красного («смещение Эйнштейна»). Адамс, заинтересованный открытыми им белыми карликами, провел тщательные исследования спектра Сириуса Б и обнаружил, что на самом деле существовало красное смещение, предложенное Эйнштейном. Это было не только признание правильности теории Эйнштейна, но также и аргумент в поддержку сверхплотности Сириуса Б, поскольку в обычной звезде, такой, как Солнце, эффект красного смещения составлял бы только одну тридцатую настоящей величины. Тем не менее в начале 60-х годов это очень незначительное смещение, производимое Солнцем, было обнаружено, и теория относительности подтвердилась еще раз.

Но что общего имеют белые карлики со сверхновыми звездами, предметом, породившим эту дискуссию? Чтобы ответить на этот вопрос, давайте вернемся к сверхновой звезде, впервые обнаруженной в 1054 году. В 1844 году лорд Росс, исследуя положение в созвездии Телец, в котором восточные астрономы обнаружили в 1054 году сверхновую звезду, изучил небольшой мутный объект. Из-за его нерегулярности и проекций, похожих на лапу, он назвал этот объект Крабовидной туманностью. Продолжавшееся в течение десятилетий изучение показало, что пятно газа медленно расширя-

лось. Действительную скорость расширения можно было вычислить на основе эффекта Доплера—Физо, и она, объединенная с очевидной скоростью расширения, позволила вычислить, что расстояние до Крабовидной туманности составляет 3500 световых лет от Земли. Из скорости расширения также было установлено, что газ начал расширяться из центральной точки взрыва около 900 лет назад, что хорошо согласовывалось с 1054 годом. Поэтому могут быть небольшие сомнения в том, что Крабовидная туманность, которая в настоящее время распространяется в течение 5 световых лет в диаметре, представляет собой остатки сверхновой звезды, обнаруженной в 1054 году.

Ни одной похожей области турбулентного газа не наблюдалось в отмеченных местах сверхновых звезд Тихо и Кеплера, хотя небольшие пятна туманности наблюдались вблизи каждого из этих мест. Однако существует 150 газовых туманностей, в которых тороидальные кольца газа могут представлять собой значительные взрывы звезд. Особенно широкое и тонкое газовое облако, петля в созвездии Лебедь, может представлять собой то, что осталось после взрыва сверхновой звезды 30 000 лет назад. Когда произошел взрыв, эта звезда должна была быть даже ближе и ярче, чем сверхновая звезда, обнаруженная в 1054 году, но тогда на Земле не существовало цивилизации, которая могла бы зафиксировать это событие.

Существуют даже доказательства того, что очень слабые помутнения, покрывающие созвездие Орион, могут быть остатками еще более старой сверхновой звезды.

Что же, однако, происходило во всех этих случаях со звездами, которые взрывались? Сложность или невозможность определения этого указывает на чрезмерную затемненность, что, в свою очередь, предполагает наличие белого карлика. Если это так, то являются ли все белые карлики остатками взрывов? В таком случае почему некоторые белые карлики, такие, как Сириус Б, имеют недостаток окутывающего их газа? Взорвется ли однажды Солнце и станет ли белым карликом? Эти вопросы приводят нас к проблеме эволюции звезд.

Из звезд, ближе всех находящихся к нам, яркие кажутся горячими, а затемненные — холодными, в соответствии с довольно регулярной шкалой яркости и температуры. Если построить графическую зависимость температуры поверхности различных звезд от их абсолютной звездной величины, большинство из известных звезд попадут в узкую полосу, с постоянным ростом от затемненного холодного до яркого горячего состояния. Эта полоса называется «главной последовательностью». Впервые она была составлена в 1913 году американским астрономом Генри Норрисом Ресселлом, следовавшим работам Герцшпрунга (астронома, впервые определившего абсолютные величины цефеиды). Поэтому график, изображающий главную последовательность, называется диаграммой Герцшпрунга—Ресселла, или диаграммой Г.-Р.

Не все звезды входят в главную последовательность. Есть некоторые красные звезды, которые, несмотря на их достаточно низкую температуру, имеют большие абсолютные величины, поскольку их вещество распространяется разреженным образом в значительном объеме. Среди красных гигантов наиболее известными являются Бетельгейзе и Антарес. Они настолько холодны (что было открыто в 1964 году), что у многих из них атмосфера насыщена водяным паром, который распадается на водород и кислород при более высоких температурах, чем на Солнце. Белые карлики, имеющие высокую температуру, также выпадают из главной последовательности.

В 1924 году Эддингтон указал, что внутренняя поверхность звезд должна быть очень горячей. Из-за большой массы звезды ее сила гравитации огромна. Если звезда не разрушается, эта огромная сила должна уравниваться равным внутренним давлением, создаваемым за счет энергии излучения. Чем большую массу имеет звезда, тем большая внутренняя температура требуется для уравнивания силы притяжения. Для того чтобы поддерживать эту высокую температуру и давление, создаваемое излучением, более массивные звезды должны сжигать энергию быстрее и они должны быть ярче, чем менее массивные звезды. Это закон массы-яркости. Эта зависимость весьма существенна, поскольку яркость изменяется пропорционально массе в шестой-седьмой степени. Если масса возрастает в три раза, то освещенность возрастает как 3 в шестой или седьмой степени, скажем, в 750 раз.

Следовательно, звезды, имеющие значительную массу, быстро растрачивают свое водородное топливо и их жизнь коротка. У Солнца достаточно водорода для того, чтобы поддерживать свою теперешнюю скорость излучения в течение многих миллиардов лет. Яркая звезда, такая, как Капелла, должна сгореть за 20 миллионов лет, а некоторые из самых ярких звезд, например Ригель, возможно, не смогут существовать дольше, чем один-два миллиона лет. Это значит, что самые яркие звезды должны быть очень молодыми. Новые звезды, возможно, формируются даже сейчас, в тех областях, где космос достаточно пыльный для того, чтобы предоставить исходный материал.

На самом деле американский астроном Джордж Гербиг обнаружил две звезды в пыли туманности Ориона в 1955 году, которые не были видны на фотографиях, сделанных за несколько лет до этого. Они могли представлять собой звезды, которые рождались в момент наблюдения.

К 1965 году были обнаружены сотни звезд, которые были настолько холодны, что не могли даже светить. Они были обнаружены по инфракрасному излучению и поэтому называются «инфракрасными гигантами», поскольку состоят из большого количества разреженной материи. Предположительно, это скопления

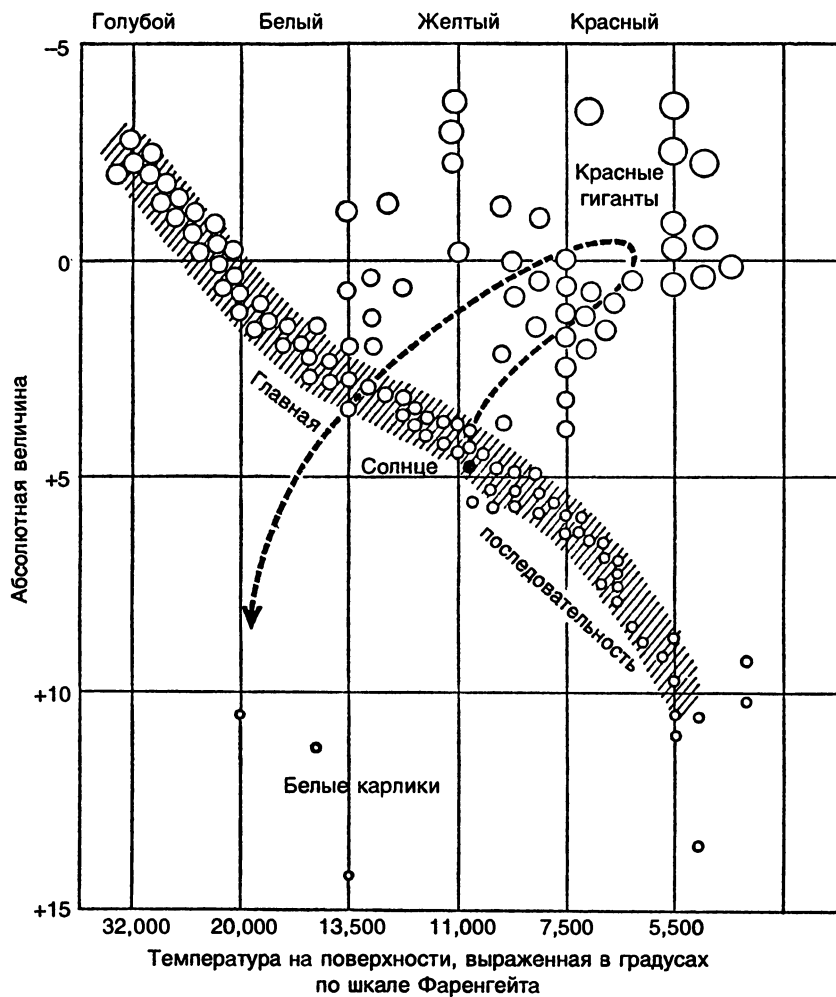


Диаграмма Герцшпрунга—Ресселла.

Пунктирная линия показывает эволюционные изменения звезд.
Сравнительные размеры звезд даны без соблюдения масштаба

пыли и газа, собирающиеся вместе и постепенно набирающие температуру. В конце концов они становятся достаточно горячими для того, чтобы излучать свет, и то, войдут ли они в определенный момент в главную последовательность, зависит от общей массы собранной в единое целое материи.

Следующим этапом в изучении эволюции звезд стал анализ звезд в шарообразных скоплениях. Звезды в скоплении находят-

ся приблизительно на одном расстоянии от Земли, поэтому их видимая величина пропорциональна их абсолютной звездной величине (как в случае цефеиды в Магеллановых Облаках). Следовательно, зная их величину, можно составить Г.-Р. диаграмму этих звезд. Обнаружено, что более холодные звезды (медленнее сжигающие свой водород) входят в главную последовательность, а более горячие склонны отдаляться от нее. В соответствии с более высокой скоростью их сгорания, а также их быстрым старением они следуют определенной линии, отражающей различные стадии эволюции, сначала направленной к красным гигантам, а затем обратно, снова пересекающей главную последовательность, и затем по направлению к белым карликам.

Из вышесказанного, а также из определенных теоретических соображений о способе, которым субатомные частицы могут объединяться при определенных высоких температурах и давлении, Фред Хойл создал подробную картину цикла эволюции звезды. Согласно Хойлу, на ранних стадиях звезда изменяет свои размеры и температуру очень незначительно. (Это положение, в котором в настоящее время находится Солнце и в котором оно будет продолжать оставаться еще долгое время.) По мере того как она превращает свой водород крайне горячей внутренней поверхности в гелий, гелий накапливается в центре звезды. Когда гелиевое ядро достигает определенного размера, звезда начинает значительно изменять свои размеры и температуру. Она становится холоднее и значительно расширяется. Другими словами, она выходит из главной последовательности и движется по направлению к красным гигантам. Чем более звезда массивна, тем быстрее она достигает этого момента. В шаровых скоплениях более массивные звезды уже прошли стадию изменяющихся размеров.

Расширившийся гигант выделяет больше тепла, несмотря на свою более низкую температуру, из-за его большей наружной поверхности. В далеком будущем, когда Солнце выйдет из главной последовательности, или даже раньше оно нагреется до такого состояния, при котором жизнь на Земле будет невозможна. Тем не менее этот момент удален от нас на миллиарды лет вперед.

До недавнего времени преобразование водорода в гелий было единственным источником энергии, обнаруженным в звездах, и это породило проблему в отношении красных гигантов. К тому времени, как звезда достигает стадии красного гиганта, большинство водорода израсходовано. Тогда каким образом она может излучать энергию в таких больших количествах? Хойл предположил, что гелиевое ядро само по себе сжимается и в результате этого оно разогревается до температуры, при которой ядра гелия могут соединяться, образуя углерод и освобождая дополнительную энергию. В 1959 году американский физик Дэвид Эльмер

Альбургер продемонстрировал в своей лаборатории, что эта реакция действительно может иметь место. Это очень редкий и маловероятный вид реакции, но в красном гиганте находится такое большое количество атомов гелия, которого достаточно для того, чтобы подобные объединения атомов происходили для получения необходимых количеств энергии.

Хойл идет дальше. Новое углеродное ядро разогревается еще больше, и начинают формироваться еще более сложные атомы, такие, как атомы кислорода и неона. Во время этого процесса звезда сжимается и еще более нагревается; она снова возвращается в главную последовательность. К этому моменту звезда подобно луковице начинает образовывать ряды слоев. У нее имеется кислородно-неоновое ядро, затем идет слой углерода, слой гелия, и все вместе покрыто оболочкой еще непретворенного водорода.

По мере того как температура в центре звезды продолжает расти, могут происходить все более и более сложные реакции. Неон в новом ядре может объединяться до образования магния, который, в свою очередь, может формировать кремний, а тот, в свою очередь, железо. На поздней стадии жизни звезда может состоять из более чем полудюжины затвердевших оболочек, в каждой из которых потребляется различное топливо. Температура в центре звезды к этому моменту может достигать от 3 до 4 миллиардов градусов.

Однако в сравнении с длительностью жизни звезды как потребителя водорода звезда быстро проходит период потребления оставшихся видов топлива. Ее жизнь вне главной последовательности весела, но коротка. Как только звезда начинает образовывать железо, она достигает тупика, поскольку атомы железа представляют точку максимальной стабильности и минимального содержания энергии. Чтобы изменить формирование атомов железа в направлении образования более сложных атомов или менее сложных атомов, требуется дополнительная энергия.

По мере того как с возрастом звезды растет температура в центре, давление, вызываемое излучением, также растет пропорционально четвертой степени температуры. Когда температура удваивается, давление излучения возрастает в 16 раз и баланс между ею и притяжением становится еще более тонким. Временное нарушение равновесия будет иметь все более и более заметные последствия, и, если давление радиации вырастет немного быстрее, может произойти взрыв новой звезды. Потеря некоторой части массы, возможно, исправит ситуацию, как минимум временно, и звезда затем продолжит старение без каких-либо катастроф в течение следующего миллиона лет или около того.

Однако может быть так, что равновесие поддерживается и звезда не разрешает ситуацию с помощью минимального взрыва. В этом случае температура в центре звезды может вырасти, в со-

ответствии с предположениями Хойла, настолько, что атомы железа будут преобразовываться в гелий. Однако для того, чтобы это произошло, как только что было сказано, атомам необходимо сообщить энергию. Единственное место, где звезда может получить эту энергию, — это ее гравитационное поле. Когда звезда сжимается, энергия, которую она получает, может быть использована для преобразования железа в гелий. Количество необходимой энергии столь велико, что звезда должна резко сократиться до небольшой части своего начального объема, и, согласно Хойлу, это должно произойти приблизительно за секунду.

Тогда за время, за которое мы успеваем лишь моргнуть, обычная звезда исчезает, и белый карлик занимает ее место. Это судьба, которая ждет Солнце в далеком-далеком будущем, и звезды, которые сейчас ярче Солнца, скорее достигнут этой стадии, возможно, в течение 5 миллиардов лет.

Все это подразумевает объяснение формирования белых карликов без взрыва. Это может быть история таких карликов, как Сириус Б и Прокцион Б. Но куда деваются сверхновые звезды?

Индийский астроном Субрахманьян Чандрасекар, работая в обсерватории Йеркс, вычислил, что ни одна звезда, превышающая массу Солнца больше чем в 1,4 раза (теперь этот предел называется «пределом Чандрасекара»), не может стать белым карликом в ходе «обычного» процесса, описанного Хойлом. И действительно, все исследованные белые карлики имеют массу ниже предела Чандрасекара. Однако также оказывается, что Крабовидная туманность, которая считается остатком взрыва сверхновой звезды, обладает массой, больше чем в 1,4 раза превышающей массу Солнца, если учитывать массу выбрасываемого газа.

Теперь мы должны объяснить, как звезда, изначально имевшая превышающую этот предел массу, могла стать белым карликом. Причина появления предела Чандрасекара состоит в том, что, чем более массивна звезда, тем больше ей необходимо сократиться (то есть она должна стать плотнее), чтобы обеспечить энергию, необходимую для преобразования ее железа в гелий, и существует предел этого сокращения. Однако очень массивная звезда может превзойти этот предел. Когда такая звезда начинает разрушаться, ее железное ядро все еще окружено объемной наружной мантией из атомов, но еще не достигнувшей максимальной стабильности. В результате происходит взрыв, который отбрасывает наружный материал от тела звезды. Белый карлик, получающийся в результате подобного взрыва, оказывается ниже предела Чандрасекара, хотя изначальная звезда превосходила этот предел.

Это может быть объяснением не только Крабовидной туманности, но также всех сверхновых звезд. Между прочим, Солнце, находясь ниже предела Чандрасекара, может однажды стать белым карликом, но, очевидно, никогда не станет сверхновой звездой.

Хойл предположил, что материя, выбрасываемая в космос сверхновой звездой, распространяется по галактикам и служит сырьем для формирования новых звезд второго поколения, богатых железом и другими металлами. Солнце, возможно, является звездой второго поколения, значительно более молодой, чем старые звезды некоторых скоплений звезд без пыли. Эти звезды первого поколения имеют низкое содержание металлов и богаты водородом. Земля, сформированная из тех же обломков, из которых сформировалось и Солнце, крайне богата железом — железом, которое могло раньше находиться в центре звезды, взорвавшейся миллиарды лет назад.

Что же касается белых карликов, то, хотя они и гибнут, похоже, их гибель будет бесконечно долгой. Их собственный источник энергии — это их гравитационное сжатие, но эта сила настолько необъятна, что она может снабжать излучающие белые карлики энергией, достаточной для того, чтобы существовать в течение миллиардов лет до того, как они целиком затемнятся и превратятся в черные карлики.

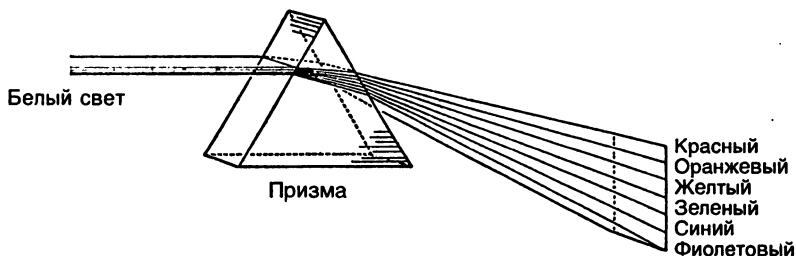
Или, возможно, как мы увидим дальше в этой главе, даже белый карлик не является крайним случаем звездной эволюции, а что могут существовать даже еще более сжатые звезды, в которых субатомные частицы заставляют их приближаться, пока они не войдут в фактический контакт и масса всей звезды не сожмется в шар, диаметр которого, возможно, не превысит 10 миль.

Обнаружение подобных крайних случаев дожидается новых методов исследования Вселенной, учитывающих преимущества иных видов излучения по сравнению с исследованиями в видимом свете.

Окна во Вселенную

Главное оружие человека в получении им знаний — это его пытливый ум и неумолимая любознательность, которая движет им. А обладающий большими ресурсами ум постоянно изобретал новые приборы, которые открывали новые горизонты, находящиеся за пределами досягаемости органов чувств.

Самый известный пример — это обширный подъем знаний, последовавший за изобретением телескопа в 1609 году. Телескоп, в сущности, представляет собой огромный глаз. По сравнению со зрачком человеческого глаза размером в четверть дюйма 200-дюймовый телескоп, установленный на горе Паломар, имеет поверхность светосилы, равную 31 000 квадратных дюймов. Его светособирающая сила усиливает яркость звезды приблизительно в миллион раз по сравнению с невооруженным человеческим глазом. Этот телескоп, впервые опробованный в 1950-е годы, был самым крупным, но в Советском Союзе в то время создавались



Эксперимент Ньютона по расщеплению спектра белого света

еще два телескопа такого же размера, а также 236-дюймовый телескоп. Создавать более крупные телескопы бесполезно, поскольку поглощение света и колебания температуры атмосферы Земли ограничивают возможности более точного детального исследования. Если будут созданы более крупные телескопы, они должны будут использоваться в безвоздушной обсерватории, возможно, в обсерватории, расположенной на Луне.

Однако простое увеличение и усиление света — это не полная мера того, что телескоп может дать человеку. Первый шаг к тому, чтобы превратить телескоп в нечто большее, нежели просто собиратель света, был сделан в 1666 году, когда Исаак Ньютон открыл, что свет может разделяться на то, что он назвал «спектром» цветов. Ученый пропускал луч солнечного света через треугольную стеклянную призму и обнаружил, что луч разделяется на полосу, состоящую из участков красного, оранжевого, желтого, зеленого, голубого, синего и фиолетового цветов, плавно переходящих один в другой. (Конечно, сам этот феномен знаком нам в форме радуги, образующейся в результате прохождения солнечного света через водяные капли, которые работают как небольшие призмы.)

То, что продемонстрировал Ньютон, было солнечным светом, или «белым светом» — смесью множества характерных излучений (что сейчас мы понимаем как волновые формы изменяющейся длины волн), которые воздействуют на глаз как множество различных цветов. Призма разделяет свет, потому что при прохождении воздуха через стекло, а затем через воздух направление света изменяется, или он «преломляется», и каждая волна преломляется в различной степени — чем короче волна, тем больше преломление. Короткие волны фиолетового цвета преломляются больше других; длинные волны красного цвета преломляются меньше остальных.

Кроме прочего, это объясняет важный недостаток самых первых телескопов, который состоял в том, что рассматриваемые через них предметы были окружены туманными цветными кольцами, поскольку линзы, через которые проходил свет, рассеивали этот свет по спектру.

Ньютон отчаялся исправлять этот недостаток, пытаясь использовать любые линзы. Тогда он разработал и построил «отражающий телескоп», в котором для увеличения изображения было использовано параболическое зеркало, а не линза. Свет, имеющий любую длину волны, отражался аналогичным образом, так что не формировался спектр при отражении и кольца разных цветов («хроматическая аберрация») не обнаруживались.

В 1757 году английский оптик Джон Доллонд создал линзы из двух различных видов стекла; линза одного типа отменяла тенденцию к формированию спектра другой линзой. Таким образом, могли создаваться ахроматические («без цвета») линзы. При использовании подобных линз «рефракционные телескопы» стали снова популярными. Самый крупный такой телескоп, с 40-дюймовой линзой, находится в обсерватории Йеркс недалеко от Вильямс-Бей, штат Висконсин. Он был построен в 1897 году. С тех пор не было построено более крупных рефракционных телескопов, и их постройка не планируется, поскольку еще более крупные линзы будут собирать достаточно света для отмены их высочайших усиливающих свойств. Гигантские современные телескопы — это все телескопы переменной отражающей силы, следующей по порядку, поскольку отражающая поверхность зеркала поглощает очень немного света.

В 1814 году немецкий оптик Йозеф Фраунгофер пошел дальше Ньютона. Он пропустил луч солнечного света через узкую щель до того, как она была преломлена призмой. Получившийся спектр представлял собой ряд изображений щели в свете световой волны каждой возможной длины. Было так много щелевых изображений, что они сливались, образуя спектр. Призмы Фраунгофера были настолько совершенно выполнены и создавали такие резкие щелевые изображения, что было возможно увидеть, что некоторые изображения отсутствуют. Если волны света с определенной длиной волны отсутствовали в солнечном свете, на волне этой длины не формировалось никакого щелевого изображения и спектр Солнца пересекали темные линии.

Фраунгофер отразил местоположение темных линий, которые он обнаружил, зафиксировав около 700 из них. С тех пор они известны как «линии Фраунгофера». В 1842 году линии солнечного спектра впервые были сфотографированы французским физиком Александром Эдмоном Беккерелем. Такие снимки значительно облегчили спектральные исследования, и при помощи современных приборов были обнаружены более 30 000 темных линий в солнечном спектре, были измерены длины их волн.

В 1850 году ряд ученых увлеклись идеей о том, что линии являются характеристикой различных элементов, присутствующих на Солнце. Темные линии должны были представлять поглощение света на длине волн определенных элементов; яркие линии представляли характеристики излучения элементов. Около 1859 го-

да немецкие физики Роберт Вильгельм Бунзен и Густав Роберт Кирхгоф разработали систему для определения элементов этим способом. Они нагревали различные вещества до раскаленного состояния, распространяли их свечение по спектру, измеряли расположение линий спектра (в данном случае яркие линии распространения на темном фоне) на фоновой шкале и совмещали каждую линию с определенным элементом. Их спектроскоп быстро нашел применение в открытии новых элементов с помощью линий спектра, неопределяемых у известных элементов. В течение нескольких лет Бунзен и Кирхгоф таким образом открыли рубидий и цезий.

Спектроскоп также применялся к изучению солнечного света и звезд и вскоре открыл огромные объемы новой информации, химической и другой. В 1862 году шведский астроном Андерс Йонас Ангстрем выделил водород на Солнце по присутствию характеристических спектральных линий этого элемента.

Водород также обнаруживался на звездах, хотя значительно больше спектры звезд варьировались от одной к другой из-за различий их химического строения (а также других свойств). На самом деле звезды можно классифицировать в соответствии с общей природой их конфигурации спектральных линий. Подобная классификация впервые была разработана итальянским астрономом Пьетро Анджело Секки в середине XIX века на основе нескольких рассеянных спектров. К 1890 году американский астроном Эдуард Чарльз Пикеринг изучал звездные спектры десятками тысяч, и спектральная классификация могла проводиться более тонко.

Изначально классификация осуществлялась по заглавным буквам в алфавитном порядке, но по мере того, как ученые узнавали о звездах больше и больше, становилось необходимым изменить этот порядок с тем, чтобы поставить спектральные классы в логическом порядке. Если располагать буквы в порядке уменьшения температуры звезд, мы получим O, B, A, F, G, K, M, R, N и S. Каждая классификация может дробиться дальше по номерам от 1 до 10. Солнце — это звезда с промежуточной температурой спектрального класса G-0, в то время как альфа Центавра — G-2. Более горячий Прокцион относится к классу F-5, в то время как значительно более горячий Сириус — к классу A-0.

Как спектроскоп мог располагать новые элементы на Земле, точно так же он мог располагать их и на небе. В 1868 году французский астроном Пьер Жюль Сезар Янссен наблюдал полное солнечное затмение в Индии и сообщал о том, что видел спектральную линию, которую не мог определить по любому из существовавших элементов. Английский астроном сэр Джозеф Норман Локьер, уверенный, что эта спектральная линия представляла новый неизвестный элемент, назвал его «гелий», от греческого слова, означающего «солнце». Менее чем через 30 лет гелий был обнаружен на Земле.

В конце концов спектроскоп стал инструментом для измерения радиальной скорости звезд, как мы видели раньше в этой главе, а также для исследования многих других свойств: магнитных характеристик звезды, ее температуры, одиночной или двойной была эта звезда, и т. д.

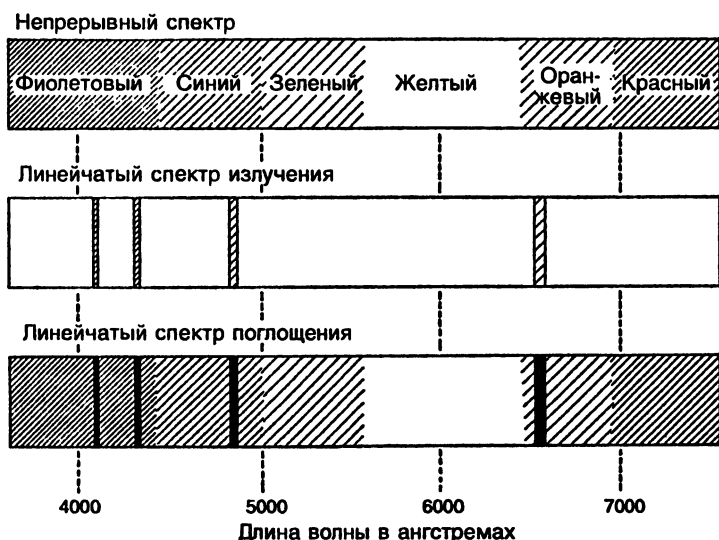
Более того, линии спектра были настоящей энциклопедией информации об атомной структуре, которую, однако, должным образом не могли использовать до 90-х годов XIX века, когда были обнаружены субатомные частицы внутри атома. Например, в 1885 году немецкий физик Иоганн Якоб Бальмер продемонстрировал, что водород образует целую серию линий, располагающихся на регулярном расстоянии, по достаточно простой формуле. Поколением позже это было использовано для выведения важной картины структуры атома водорода.

Сам Локьер продемонстрировал, что спектральные линии, образуемые данным элементом, изменялись при высоких температурах. Это указывало на некоторые изменения атомов. И снова это не было оценено, пока позже не обнаружилось, что атом состоит из более мелких частиц, некоторые из которых выводились из атома при высоких температурах, изменяя структуру атома и природу линий, порождаемых атомом. (Подобные изменяемые линии иногда по ошибке принимались за признаки новых элементов, но, увы, гелий оставался единственным новым элементом, обнаруженным на небе.)

Когда в 1830 году французский художник Луи Жак Манде Дагер создал первые «дагеротипы» и таким образом ввел фотографию, это также вскоре стало бесценным инструментом для астрономов. На протяжении 40-х годов XIX века различные американские астрономы фотографировали Луну, и одна фотография, сделанная американским астрономом Джорджем Филлипсом Бондом, стала сенсацией на Большой выставке 1851 года в Лондоне. Они также фотографировали Солнце. В 1860 году Секки сделал первую фотографию полного солнечного затмения. К 1870 году фотографии затмений доказали, что корона Солнца и протуберанцы были частью Солнца, а не Луны.

Тем временем в начале 50-х годов XIX века астрономы также делали фотографии далеких звезд. К 1887 году шотландский астроном Дэвид Джилл сделал программу фотографирования звезд. Фотография пригодилась и становилась более важной, чем человеческий глаз, при изучении Вселенной.

Технология фотографирования с телескопами постоянно совершенствовалась. Главный камень преткновения заключался в том факте, что крупный телескоп мог захватить лишь очень небольшую область. В попытках увеличить поле зрения возникают искажения внутри изображения и у его границ. В 1930 году оптик Бернард Шмидт разработал метод для введения корректирующей линзы, которая предотвращала появление подобных иска-



Типы спектров

жений. С помощью такой линзы одновременно можно сфотографировать большой кусок неба, а также изучить интересные объекты, которые затем могут быть подробно изучены с помощью обычного телескопа. Поскольку подобные телескопы почти неизменно используются в работе фотографов, их называют «фотокамерами Шмидта».

Самые крупные камеры Шмидта — это 53-дюймовые приборы, впервые примененные в 1960 году в Таутенберге, Восточная Германия, и 48-дюймовые приборы, используемые совместно с 200-дюймовым телескопом Гейла на горе Паломар. Третий самый крупный телескоп — это 39-дюймовый прибор, используемый в обсерватории в Армении с 1961 года.

Около 1800 года Уильям Гершель (астроном, который первым угадал форму нашей Галактики) выполнил очень простой, но интересный эксперимент. В луче солнечного света, проходящего через призму, он держал термометр выше красной границы спектра. Ртуть поднималась! Очевидно, некоторая форма излучения существовала в волнах света ниже границы видимого спектра. Излучение, которое обнаружил Гершель, стало известно как *инфракрасное* — ниже красной границы; и, как мы знаем, 60 процентов солнечной радиации — это инфракрасное излучение.

Примерно в то же время немецкий физик Иоганн Вильгельм Риттер исследовал внешний конец спектра. Он обнаружил, что нитрат серебра, который распадается до серебра и темнеет, когда подвергается освещению синим или фиолетовым светом, распа-

дается еще быстрее, если он помещается за точкой в спектре, в которой фиолетовый свет меркнет. Таким образом Риттер обнаружил «свет», ныне известный как *ультрафиолетовый* (выше границы фиолетового света). Гершель и Риттер расширили зависимый от времени спектр и перешли в новые сферы радиации.

Эти новые сферы несли в себе многообещающую новую информацию. Ультрафиолетовая часть солнечного спектра, невидимая для глаза, проявляется в подробностях с помощью фотографии. На самом деле используется кварцевая призма (кварц передает ультрафиолетовый свет, в то время как обычное стекло поглощает большую его часть), и может быть записан достаточно сложный ультрафиолетовый спектр, что было продемонстрировано в 1852 году британским физиком Джорджем Стоксом. К сожалению, в атмосфере передается только «ближний ультрафиолет» — часть с длиной волны почти такой же, как длина волны фиолетового света. «Дальний ультрафиолет», с особенно короткой длиной волны, поглощается в верхних слоях атмосферы.

В 1860 году шотландский физик Джеймс Кларк Максвелл разработал теорию, в которой предсказал целое семейство радиации, связанной с электромагнитным феноменом («электромагнитное излучение»), — семейство, в котором обычный свет составлял только небольшую часть. Первое ясное доказательство, подтверждающее его предсказание, появилось спустя четверть века, через семь лет после преждевременной смерти Максвелла от рака. В 1887 году немецкий физик Генрих Рудольф Герц, генерируя колеблющийся ток из искры индукционной катушки, вызвал и определил излучение с крайне большой длиной волн — гораздо длиннее, чем длина волн инфракрасного излучения. Эти волны стали называть *радиоволнами*.

Длину волн видимого света можно измерять в микрометрах (мкм) (миллионных долях метра). Она варьируется от 0,39 мкм (крайний фиолетовый) до 0,78 мкм (крайний красный). Затем идут ближний инфракрасный (от 0,78 до 3 мкм), средний инфракрасный (от 3 до 30 мкм) и дальний инфракрасный (от 30 до 1000 мкм). Здесь и начинаются радиоволны: так называемые «микроволны» имеют длину волны от 1000 до 160 000 мкм, а длинные радиоволны достигают миллиардов микрометров.

Излучение можно охарактеризовать не только длиной волны, но также и частотой, числом волн излучения, появляющихся каждую секунду. Это значение настолько высоко для видимого света и для инфракрасного света, что оно обычно не используется в этих случаях. Однако для радиоволн частота имеет меньшие значения. Тысяча волн в секунду — это килоцикл, в то время как миллион волн в секунду — это мегацикл. Микроволновая область простирается от 300 000 мегациклов до 1000 мегациклов. Гораздо более длинные радиоволны используются на обычных радиостанциях в диапазоне килоцикла.



В течение десятилетия после открытия Герца другой конец спектра был открыт аналогичным образом. В 1895 году немецкий физик Вильгельм Конрад Рентген случайно обнаружил таинственное излучение, которое он назвал *X-лучами*. Длина волн этого излучения оказалась короче, чем у ультрафиолетового света. Позже Резерфорд продемонстрировал, что *гамма-лучи*, связываемые с радиоактивностью, имеют длину волны даже меньше, чем длина волны X-лучей.

Коротковолновая часть спектра сейчас грубо делится так: волны с длиной от 0,39 до 0,17 мкм принадлежат ближнему ультрафиолету, от 0,17 до 0,01 мкм — дальнему ультрафиолету, от 0,01 до 0,00001 мкм — рентгеновским лучам, а гамма-лучи — от этого значения до меньше миллиардной доли микрона.

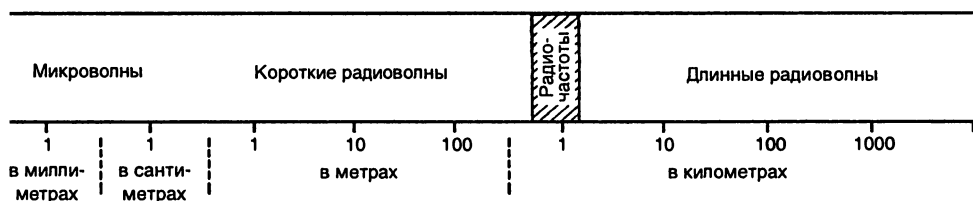
Изначальный спектр Ньютона был таким образом значительно расширен. Если мы будем учитывать каждое удвоение длины волн как эквивалент одной октавы (как в случае звука), электромагнитный спектр всего диапазона изученных значений составит почти 60 октав. Видимый свет занимает лишь одну октаву около центра спектра.

Конечно, имея более широкий спектр, мы можем получить более полную картину звезд. Например, мы знаем, что солнечный свет богат ультрафиолетом и инфракрасным светом. Наша атмосфера отсекает большую часть этого излучения; однако в 1931 году случайно было обнаружено «радиоокно» во Вселенную.

Карл Янский, молодой радиоинженер из «Bell telephone laboratories», изучал статику, которая всегда сопровождает радиоприем. Он попал на очень слабый, очень стабильный шум, который не мог исходить из любого из обычных источников. Наконец он решил, что статика была вызвана радиоволнами из открытого космоса.

Сначала радиосигналы из космоса казались наиболее сильными в направлении Солнца, но изо дня в день направление наиболее сильного приема медленно уплывало от Солнца и образовало в небе круг. К 1933 году Янский решил, что радиоволны исходили из Млечного Пути, и в частности со стороны Стрельца, по направлению к центру Галактики.

Таким образом произошло рождение *радиоастрономии*. Астрономы не приняли это открытие немедленно, но молодой радио-



любитель Гроут Ребер продолжал исследования, исключительно по причине любопытства. В течение 1937 года он тратил время и деньги на создание в своем саду небольшого «радиотелескопа» с параболической «тарелкой» диаметром около 30 футов для приема и концентрации радиоволн. Начиная с 1938 года он обнаружил ряд источников радиоволн, отличных от источника на Стрельце — например, один в созвездии Лебедь, а другой — в созвездии Кассиопея. (Такие источники излучения сначала называли *радиозвездами*, без разницы, были ли источники в действительности звездами или нет, но теперь они обычно называются *радиоисточниками*.)

В течение Второй мировой войны, когда британские ученые разрабатывали радар, они обнаружили, что Солнце вмешивалось, посылая сигналы в микроволновом диапазоне. Это вызвало их интерес к радиоастрономии, и после войны британцы следовали настройке на Солнце. В 1950 году они обнаружили, что большая часть радиосигналов Солнца была связана с солнечными пятнами. (Янский проводил свои эксперименты во время периода минимальной активности солнечных пятен, вот почему он обнаружил скорее галактическое, а не солнечное излучение.)

Британцы были первыми в создании крупных антенн и массивов широко разнесенных приемников (технология, впервые примененная в Австралии) для более резкого приема и точности радиозвезд. Их 250-футовая тарелка в Джодрел-Бэнк в Англии, построенная под наблюдением сэра Бернарда Ловелла, была первым действительно крупным радиотелескопом.

В 1947 году австралийский астроном Джон С. Болтон обнаружил третий сильнейший источник радиоизлучения в небе, и он оказался не где-нибудь, а в Крабовидной туманности. Из 2000 или около того радиоисточников, обнаруженных то там, то здесь в небе, это был первый, определенный как действительно видимый объект. Казалось маловероятным, что белый карлик породил излучение, поскольку другие белые карлики не порождали его. С гораздо большей вероятностью источником было облако расширяющегося газа в туманности.

Это укрепило другие доказательства того, что космические радиосигналы возникают в первую очередь из турбулентного газа. Турбулентный газ наружной атмосферы Солнца вызывает радио-

волны, поэтому то, что называется *радиосолнце*, гораздо крупнее, чем видимое Солнце. Затем также было обнаружено, что Юпитер, Сатурн и Венера, имеющие турбулентные атмосферы, являются радиоизлучателями. Однако в случае Юпитера излучение, впервые обнаруженное в 1955 году, в записях, уходящих в 1950 год, кажется определенным образом связанным с конкретной областью, которая движется настолько регулярно, что ее можно использовать для определения периода обращения Юпитера, с точностью до сотой доли секунды. Указывает ли это на связь с частью твердой поверхности Юпитера — поверхности, никогда не видимой из-за закрывающих ее облаков гигантской атмосферы? Если это так, то почему? А в 1964 году сообщалось, что период обращения Юпитера изменился достаточно внезапно, хотя и очень незначительно. И снова возникает вопрос: почему? В 1965 году было продемонстрировано, что Юпитер с наибольшей вероятностью излучает сильный заряд радиоволн, когда его спутник Ио находится в первой или третьей четверти (слева или справа от Юпитера, если смотреть с Земли). И вновь: почему? До настоящего времени исследования радиоволн вызывали больше вопросов о планетах, чем было получено на них ответов, но для науки и ученых нет никакого лучшего стимулятора, чем хороший вопрос, оставшийся без ответа.

Заслуги Янского, который начал все это, были значительно недооценены при жизни. Он скончался в 1950 году в возрасте 44 лет, именно когда радиоастрономия начала делать свои значительные успехи. Он заслужил посмертное признание настолько, что сейчас сила радиоизлучения измеряется в янских.

Исследования радиоастрономии уходили все дальше в космос. В пределах нашей Галактики существует мощный источник радиоизлучения (самый мощный вне Солнечной системы), который называется «Касс», поскольку он расположен в созвездии Кассиопея. Вальтер Бааде и Рудольф Минковски в обсерватории Паломар готовили 200-дюймовый телескоп для фокусирования на том месте, где этот источник был обнаружен британскими радиотелескопами, и они зафиксировали полосы турбулентного газа. Возможно, это были остатки сверхновой звезды, открытой в 1604 году, которую Кеплер наблюдал в созвездии Кассиопея.

Еще более далекое открытие было сделано в 1951 году. Второй по силе источник радиоизлучения находится в созвездии Лебедь. Ребер первым сообщил об этом в 1944 году. По мере того как радиотелескопы сужали его возможное место расположения, стало ясно, что этот источник радиоизлучения находится вне нашей Галактики — первый источник, обнаруженный дальше Млечного Пути. Затем в 1951 году Бааде, изучая указанную область неба с помощью 200-дюймового телескопа, обнаружил лишнюю галактику в центре изучаемой области. У нее был двойной центр, и казалось, что она искажена. Сначала Бааде

подозревал, что эта непарная, искаженная, имеющая два центра галактика представляла собой не одну, а две галактики, объединенные как пара сталкивающихся тарелок. Бааде думал, что это две сталкивающиеся галактики — возможность, которую он уже обсуждал с другими астрономами.

Разрешение этого вопроса заняло еще год. Спектроскоп показывал линии абсорбции, которые можно было объяснить, только предположив, что пыль и газ двух галактик приходили к столкновению. Сейчас столкновение воспринимается как факт. Более того, кажется вероятным, что галактические столкновения довольно обычны, в особенности в плотных скоплениях, в которых галактики могут отстоять друг от друга на расстоянии, не сильно превосходящем их собственные диаметры.

Когда две галактики сталкиваются, сами звезды вряд ли встречаются друг с другом: они настолько удалены, что одна галактика может пройти сквозь вторую без существенного сближения звезд. Но облака пыли и газа возмущаются в огромные турбулентные потоки и, таким образом, генерируют очень мощное радиоизлучение. Сталкивающиеся галактики в созвездии Лебедь удалены на 260 миллионов световых лет, тем не менее их радиосигналы, доходящие до нас, мощнее, чем сигналы из Крабовидной туманности, удаленной только на 3500 световых лет. По этому признаку мы должны иметь возможность определять сталкивающиеся галактики на гораздо больших расстояниях, чем можем наблюдать в оптические телескопы. Например, 250-футовый радиотелескоп Джодрел-Бэнк должен превосходить 200-дюймовый телескоп «Hale».

А пока число источников радиоизлучения, найденных в удаленных галактиках, увеличивалось и перешло рубеж в сто источников, астрономы все больше тревожились. Конечно, приписать их все только сталкивающимся галактикам было бы утрированием.

На самом деле вся идея о столкновениях галактик в небе становилась все более неустойчивой. Советский астрофизик Виктор Амазанович Амбарцумян выдвинул в 1955 году теоретические причины предположения о том, что радиоизлучающие галактики скорее взрывались, чем сталкивались. К началу 60-х годов прошлого века Фред Хойл подкрепил его точку зрения и предположение о том, что радиогалактики подвергались действию сверхновых звезд. В переполненном центре ядра галактики суперновая звезда могла взорваться и нагреть соседнюю звезду до такой температуры, при которой также происходит взрыв сверхновой звезды. Второй взрыв приводит к третьему, третий — к четвертому и так далее, как падающие кости домино. В этом смысле весь центр галактики взрывается.

Возможность того, что все на самом деле происходит именно так, была значительно подкреплена открытием, сделанным в

1963 году, о том, что галактика М82 в созвездии Большая Медведица (сильный источник радиоизлучения на расстоянии около 10 миллионов световых лет) является подобной «взрывающейся галактикой».

Исследования галактики М82 с помощью 200-дюймового телескопа «Hale», в которых использовался свет с определенной длиной волны, показали возникновение значительных потоков материи, находящихся на расстоянии до тысячи световых лет от центра галактики. Учитывая количество материи, взрывающейся и выбрасываемой наружу, путь, пройденный ею, и скорость ее движения, кажется вероятным, что 1,5 миллиона лет назад свет 5 миллионов звезд, взорвавшихся в ядре галактики практически одновременно, впервые достиг Земли.

Новые объекты

К началу 1960-х годов астрономам стало ясно, что осталось немного неразгаданных тайн, связанных с физическими объектами на небе. Новые теории, новые взгляды — да; но и очень немногое на пути потрясающих новых разнообразий звезд, галактик или еще чего-то могло остаться неизвестным после трех веков наблюдений с помощью постоянно усложнявшихся приборов.

Если астрономы и думали так, они должны были испытать серьезный шок — первый выход в результате исследования определенных источников радиоизлучения, которые казались необычными, но не удивительными.

Источники радиоизлучения, впервые изученные в далеком космосе, казалось, существовали в связи с расширенными объемами турбулентного газа: Крабовидная туманность, удаленные галактики и т. д. Однако существовало несколько источников радиоизлучения, которые казались необычно маленькими. По мере того как телескопы становились все более утонченными и взгляды на источники радиоизлучения совершенствовались, стало казаться возможным, что радиоволны излучаются отдельными звездами. Среди этих компактных источников радиоизлучения были некоторые, известные как 3C48, 3C147, 3C196, 3C273, 3C286.

В 1960 году области, содержащие эти компактные источники радиоизлучения, были тщательно изучены Сэндиджем с помощью 200-дюймового телескопа, и в каждом случае звезда на самом деле не казалась источником излучения. Первая звезда, которая была обнаружена, была звездой, связанной с 3C48. Что же касается 3C273, самого яркого из объектов, его точное положение было получено Сирилом Хазардом в Австралии, когда он зафиксировал момент глушения радиосигнала при прохождении Луны перед ним.

Эти звезды были зафиксированы на предыдущих фотографиях неба и всегда воспринимались как слабые члены нашей собственной Галактики. Однако тщательное фотографирование, подстегиваемое их необычным радиоизлучением; на этот раз показало, что это *не так*. Оказалось, что слабые туманности действительно связаны с некоторыми объектами, и 3C273 проявил признаки небольшого потока материи, исходящего из него. На самом деле было два источника радиоизлучения, связанные с 3C273: один со звезды и другой из потока материи. Другое явление, представлявшее значительный интерес, обнаружилось после тщательного изучения и заключалось в том, что эти звезды оказались необычно богаты ультрафиолетовым светом.

Могло показаться, что компактные источники радиоизлучения, хотя они и выглядели как звезды, после всего не могли быть обычными звездами. Наконец их стали называть *квазизвездные источники* (квазизвездный означает походящий на звезду). По мере того как этот термин становился все более и более важным для астрономов, стало слишком неудобно произносить «квазизвездные источники радиоизлучения», и в 1964 году это определение американский физик китайского происхождения Хонг Е Чю сократил до «квазар», неблагозвучного слова, которое прочно вошло в астрономическую терминологию.

Ясно, что квазары были достаточно интересны для того, чтобы гарантировать их исследование с полным набором астрономических технологий, и это означало спектроскопию. Такие астрономы, как Алан Сэндидж, Джесс Л. Гринштейн и Маартен Шмидт, работали над получением спектров. Когда закончили эту работу в 1960 году, они обнаружили, что имеют дело со странными линиями, которые не могут идентифицировать. Более того, линии в спектрах одного квазара не совпадали с линиями любого другого.

В 1963 году Шмидт вернулся к спектру объекта 3C273, который, как самый яркий из этих загадочных объектов, давал самый ясный спектр. В нем присутствовало шесть линий, четыре из которых располагались таким образом, что они напоминали серии линий водорода — за исключением того, что такие серии линий не должны были присутствовать в том месте, где были обнаружены. А что, если эти линии располагались где-то еще, но были обнаружены именно там, где были обнаружены, потому что вытеснились к красному концу спектра? Если это было так, то это смещение было значительным, указывавшим на удаление со скоростью более 25 000 миль в секунду. Это казалось невероятным, и все же, если подобное смещение существовало, можно было определить две другие линии: одна представляла собой атом кислорода минус два электрона, другая — атом магния минус два электрона.

Шмидт и Гринштейн занялись спектрами другого квазара и обнаружили, что линии в нем также определялись, при учете значительного смещения к красному концу спектра.

Подобные значительные красные смещения могли быть вызваны общим расширением Вселенной; однако, если красное смещение изменялось с расстоянием в соответствии с законом Хаббла, получалось, что квазары совсем не могли быть обычными звездами нашей Галактики. Они должны были быть среди наиболее удаленных известных объектов — в миллиардах световых лет от Земли.

К концу 1960-х годов в ходе углубленного исследования было обнаружено 150 квазаров. Изучались спектры примерно 110 из них. Каждый отдельный спектр обнаруживал значительное смещение к красному концу — более значительное, чем смещение объекта 3C273. Расстояние до некоторых из них оценивается равным приблизительно 9 миллиардам световых лет.

Если квазары на самом деле находятся так далеко, как это предполагает красное смещение, астрономы сталкиваются с загадочными и сложными вопросами. Они должны быть чрезвычайно светлыми, чтобы выглядеть настолько яркими, насколько видны с подобного расстояния, должны быть ярче целой галактики в 30—100 раз.

Тем не менее, если это так и если квазары имели форму и внешний вид галактики, они должны были содержать количество звезд, до ста раз превосходящее количество звезд в обычной галактике, и быть в пять или шесть раз больше в каждом измерении. Даже на огромных расстояниях, на которых они находятся, они должны были быть видны в телескоп как четкие овальные пятна света. Тем не менее это не так. Они остаются точками, похожими на звезды, даже в более мощных телескопах, что, похоже, указывает на то, что, несмотря на свою необычную яркость, они имеют значительно меньшие размеры, чем обычные галактики.

Небольшие размеры квазаров подчеркивались другим феноменом, а именно: в 1963 году было обнаружено, что изменяется излучаемая ими энергия, как в области видимого света, так и в области радиоволн. Увеличения и уменьшения как минимум трех величин были зафиксированы за несколько лет.

Для того чтобы излучение изменялось настолько заметно в течение такого короткого времени, тело должно быть небольшим. Небольшие изменения могли быть результатом увеличения яркости и затемнения в ограниченных объемах тела, но значительные изменения должны затрагивать все тело. Если происходит воздействие на тело целиком, то некоторый эффект проявляется по всей ширине тела в течение времени изменения. Однако ни один эффект не может перемещаться быстрее света, поэтому, если квазар значительно изменяется за период в несколько лет, он не может быть больше одного светового года или около того в диаметре. В действительности некоторые расчеты показывают, что квазары могут иметь диаметр всего в световую неделю (500 миллиардов миль).

Тела, которые одновременно являются такими небольшими и такими яркими, должны распространять энергию с такой большой скоростью, что запасы этой энергии должны иссякать быстро (если только не существует некоего невообразимого источника энергии, что, конечно, невозможно). Некоторые вычисления показывают, что квазар может выделять энергию с этой значительной скоростью в течение только миллиона лет или около того. В этом случае квазары, которые мы видим, стали квазарами в недавнем, по космическим меркам, прошлом, и должно существовать определенное число объектов, которые когда-то были квазарами, но больше ими не являются.

В 1965 году Сэндидж объявил об открытии объектов, которые могли представлять собой старые квазары. Они казались обычными голубыми звездами, но обладали таким же значительным красным смещением, что и квазары. Они были так же далеки, так же ярки и невелики, как квазары, но излучение ими радиоволн было недостаточным. Сэндидж назвал их *синими звездными объектами*.

Похоже, что синих звездных объектов больше, чем квазаров: оценка их общего числа, проведенная в 1967 году, показывает, что синих звездных объектов, видимых в телескоп, не менее 100 тысяч. Синих звездных объектов потому настолько больше, чем квазаров, что тела живут значительно дольше в форме синих звездных объектов, чем в форме квазаров.

Главный интерес к квазарам (кроме запутанной головоломки, которой они действительно являются) заключается в том факте, что они одновременно настолько необычны и настолько далеки. Возможно, они представляют собой вид тел, которые существовали только в молодой Вселенной. (Тело, удаленное на 9 миллиардов световых лет, видится только по свету, который оно излучало 9 миллиардов лет назад, спустя незначительное время с момента взрыва «космического яйца».) Если это так, тогда ясно, что внешний вид Вселенной миллиарды лет назад радикально отличался от современного. В этом случае Вселенная эволюционировала, как утверждают сторонники теории «мощного взрыва», и не является вечной неизменной, на чем настаивают сторонники «продолжающегося создания».

Использование квазаров в качестве доказательств, подтверждающих «мощный взрыв», не является неопровержимым. Ряд астрономов выдвигают доказательства того, что квазары на самом деле не настолько далеки и, следовательно, не могут использоваться как представления характерных объектов молодости Вселенной. Астрономы, поддерживающие эту точку зрения, должны объяснить значительное красное смещение в спектрах квазаров каким-то другим влиянием, отличным от огромного расстояния, и сделать это непросто. В целом, хотя вопрос еще далек от решения и существуют множественные трудности, присутствующие

щие в обеих точках зрения, мнение все-таки склоняется, похоже, к тому, что квазары — это очень далекие объекты.

Даже если это и так, похоже, есть причина спрашивать: являются ли они целиком характеристикой только лишь молодости Вселенной? Распределены ли они достаточно равномерно, так, что их можно обнаружить во Вселенной в любом возрасте?

Так, в 1943 году американский астроном Карл Сейферт исследовал необычную галактику, с очень ярким и очень маленьким ядром. С тех пор были исследованы другие галактики этого типа, и сейчас целая группа галактик именуется *сейфертовскими галактиками*. Хотя только дюжина из них стала известна к концу 60-х годов прошлого века, есть причины предполагать, что, как минимум, один процент всех галактик может относиться к типу сейфертовских галактик.

Может ли быть, что сейфертовские галактики — это промежуточные объекты между обычными галактиками и квазарами? Их яркие центры обнаруживают медленные изменения света, что может сделать эти центры почти такими же небольшими, как и квазары. Если бы центры увеличивали интенсивность света и дальше, а остальная часть галактики затемнялась бы, в конце концов они стали бы неотличимы от квазаров, и одна из сейфертовских галактик, 3C120, выглядит почти как квазар.

Сейфертовские галактики имеют лишь умеренное красное смещение и не настолько удалены. Может ли быть, что квазары очень далеки от сейфертовских галактик, настолько далеки, что мы можем видеть только их яркие и небольшие центры; и настолько далеки, что мы можем видеть только самые крупные из них, и у нас создается впечатление, что квазары чрезвычайно ярки, в то время как вернее было бы предполагать, что только несколько очень крупных сейфертовских галактик образуют квазары, которые мы можем наблюдать, несмотря на их удаленность?

Но если мы будем считать, что сейфертовские галактики, близкие к нам, представляют собой небольшие квазары либо, возможно, крупные развивающиеся квазары, то может ли быть так, что распределение квазаров — характеристика не только возраста Вселенной и что их существование — весомое доказательство теории «большого взрыва»?

Однако произошло так, что теория «большого взрыва» получила мощную поддержку в другом направлении. В 1949 году Гамов вычислил, что излучение, связанное с «большим взрывом», должно было сойти на нет вместе с расширением Вселенной до такой степени, что радиоволновое излучение приходило бы равномерно со всех участков неба в виде своеобразного радиофона. Он предположил, что излучение должно исходить от предметов при температуре 5 кельвинов (то есть 5 градусов выше абсолютного нуля, то есть -268°C).

В 1965 году подобное фоновое излучение радиоволн было обнаружено и описано Арно Пензиасом и Робертом Уилсоном из «Bell telephone laboratories» в Нью-Джерси. Температура, связанная с излучением, составляла 3 кельвина, что, в общем, не слишком расходилось с расчетами Гамова. Никакого другого объяснения, кроме «большого взрыва», не было предложено для существования фонового излучения, и на тот момент теория «большого взрыва» эволюционирующей Вселенной, начавшейся со взрыва значительного количества плотной материи, кажется верной.

Если радиоволновое излучение дало начало такому удивительному и загадочному астрономическому телу, как квазар, исследования другого конца спектра предположили наличие другого тела — такого же удивительного, если не настолько же загадочного.

В 1958 году американский астрофизик Герберт Фридман обнаружил, что Солнце порождает значительное количество рентгеновских лучей. Их невозможно было обнаружить с поверхности Земли, поскольку атмосфера поглощала их, однако ракеты, запускаемые выше атмосферы и имеющие необходимые приборы, могли легко зарегистрировать излучение.

В то время источник солнечного рентгеновского излучения оставался загадкой. Температура поверхности Солнца составляет всего 6000 °C — достаточно для испарения любой формы материи, но недостаточно для образования рентгеновских лучей.

Источник должен был располагаться в солнечной короне, тонком ореоле газов, вырывающихся с поверхности Солнца на многие миллионы миль во всех направлениях. Хотя солнечная корона дает примерно половину света, который дает Луна, он полностью замаскирован светом самого Солнца и может быть видимым только во время затмений, как минимум при обычных обстоятельствах. В 1930 году французский астроном Бернар Фердинанд Лиот изобрел телескоп, который, находясь на большой высоте, и в ясную погоду позволял наблюдать внутреннюю корону даже в отсутствие затмения.

Солнечная корона считалась источником рентгеновского излучения, потому что даже до исследования этих лучей с помощью ракет предполагалось, что она обладает необычайно высокой температурой. При исследовании спектра солнечной короны (во время затмений) были обнаружены линии, которые не могли быть связаны с каким-либо из известных элементов. Предполагалось, что это новый элемент, который был назван короний. Однако в 1941 году было обнаружено, что линии корония могли порождаться атомами железа, из которых было выбито много субатомных частиц. Однако дробление всех этих частиц требовало температуры порядка миллиона градусов, и этой температуры, разумеется, вполне хватило бы для образования рентгеновских лучей.

Рентгеновское излучение резко увеличивается, когда солнечная вспышка попадает в корону. Интенсивность излучения в это время подразумевает температуру порядка 100 миллионов градусов в солнечной короне над вспышкой. Причина таких огромных температур в тонком слое газа солнечной короны — все же спорный вопрос. (Мы должны понимать разницу между температурой и теплом. Температура — это мера кинетической энергии атомов или частиц газа, но, поскольку частиц немного, реальное содержание тепла на единицу объема низкое. Рентгеновские лучи порождаются столкновениями между частицами с чрезвычайно высокой энергией.)

Рентгеновское излучение поступало и извне Солнечной системы. В 1963 году Бруно Росси и другие запустили в космос ракету со специальными приборами, чтобы установить, отражаются ли рентгеновские лучи от поверхности Луны. Вместо этого они установили два особенно концентрированных источника рентгеновского излучения в другом месте. Более слабый источник (названный Тау X-1, поскольку он находился в созвездии Телец) был немедленно связан с Крабовидной туманностью. В 1966 году более сильный источник в созвездии Скорпион (Sco X-1) был связан с оптическим объектом, который казался остаточным (наподобие Крабовидной туманности) объектом старой новой звезды. С тех пор на небе было обнаружено несколько десятков более слабых источников рентгеновского излучения.

Чтобы передавать энергию рентгеновского излучения с интенсивностью, достаточной для преодоления межзвездного пространства, требовался источник, обладающий чрезвычайно высокой температурой и огромной массой. Концентрация рентгеновских лучей, излучаемых солнечной короной, не могла обеспечить это все.

То, что объект должен был одновременно иметь огромную массу и обладать температурой порядка миллиона градусов, предполагало наличие «сверхбелого карлика». Еще в 1934 году Цвикки предположил, что субатомные частицы белых карликов могли при определенных обстоятельствах объединяться в незаряженные частицы, называемые *нейтронами*. Затем происходило сжатие, до наступления контакта. В результате этого образовывалась сфера не более 10 миль в диаметре, которая сохраняла бы массу звезды обычного размера. В 1939 году свойства подобной «нейтронной звезды» были подробно рассмотрены американским физиком Дж. Робертом Оппенгеймером. Подобный объект достигал бы такой огромной температуры поверхности, по крайней мере на начальных этапах после своего формирования, что ее было бы вполне достаточно для обильного рентгеновского излучения.

Поиски Фридманом действительных доказательств существования подобных «нейтронных звезд» проходили вокруг Крабовидной туманности, где, как предполагалось, произошел огромный

взрыв, в результате которого сформировался не плотный белый карлик, а нейтронная звезда. В июле 1964 года, когда Луна проходила Крабовидную туманность, за пределы атмосферы для регистрации рентгеновского излучения была запущена ракета. Если бы излучение исходило от нейтронной звезды, то оно полностью и сразу прекратилось бы при проходе Луны перед небольшим объектом. Если же рентгеновское излучение исходило из самой Крабовидной туманности, оно уменьшалось бы постепенно, по мере затмения Луной туманности. Были получены доказательства последнего, и оказалось, что Крабовидная туманность крупнее и имеет гораздо более интенсивную корону, около светового года в диаметре.

На тот момент вероятность того, что нейтронные звезды действительно могли существовать и обнаруживаться, сократилась, но в том же году, когда Крабовидная туманность не прошла эту проверку, в другом направлении было сделано новое открытие. Казалось, что радиоволны из определенных источников указывают на очень быстрые колебания интенсивности. Это происходило так, как будто там и тут существовали «радиомерцания».

Астрономы быстро разработали приборы, способные улавливать очень короткие выбросы радиоволн. Они считали, что это позволит изучить эти быстрые изменения более подробно. Одним из астрономов, использовавшим подобный радиотелескоп, был Энтони Хьюиш из обсерватории Кембриджского университета.

Он начал работать с телескопом с новым детектором, когда обнаружил выбросы энергии радиоволн на полпути между Вегой и Альтаиром. Их было несложно определить, и они могли быть обнаружены на многие годы раньше, если бы астрономы предполагали обнаружить такие короткие вспышки и разработали бы приборы для их обнаружения. Импульсы были удивительно короткими, их длительность составляла лишь $\frac{1}{30}$ секунды. Но что было еще более удивительно, импульсы следовали один за другим с отменной регулярностью, с интервалами 1 и $\frac{1}{3}$ секунды. Интервалы были настолько регулярными, что период можно было вычислить до миллионной доли секунды. Он составлял 1,33730109 секунды.

Естественно, не существовало способа объяснить, что представляла собой эта пульсация. Э. Хьюиш мог всего лишь рассуждать о «пульсирующей звезде», при каждой пульсации которой происходил выброс энергии. Это словосочетание было сокращено до «пульсар», именно под этим названием такого рода объекты и стали известны.

О новых объектах можно говорить во множественном числе, поскольку после того, как Хьюиш обнаружил первый из них, он занялся поисками других. К февралю 1968 года, когда ученый объявил об открытии, он обнаружил еще четыре. Другие астро-

номы начали активные поиски, и вскоре было обнаружено немало таких объектов — в течение двух последующих лет около 40 пульсаров. Две трети из них расположены очень близко к галактическому экватору, что служит верным признаком того, что пульсары являются частью нашей собственной Галактики. Некоторые удалены от нас на расстояние в 100 световых лет или около того. Нет причин отрицать, что они существуют также и в других галактиках, но на огромном расстоянии других галактик их, вероятно, очень сложно обнаружить.

Все пульсары характеризуются высокой регулярностью пульсаций, но точный период меняется от пульсара к пульсару. У одного из них период равен 3,7 секунды. В ноябре 1968 года астрономы в Грин-Бэнк, штат Западная Вирджиния, обнаружили в Крабовидной туманности пульсар, который имел период, равный лишь 0,033089 секунды. Он пульсировал 30 раз в секунду.

Естественно, встает вопрос, что может порождать такие короткие вспышки, следующие с фантастической регулярностью? Некое астрономическое тело должно подвергаться каким-то очень регулярным изменениям с достаточно короткими интервалами, для того чтобы порождать пульсацию. Может ли это быть планета, вращающаяся вокруг звезды таким образом, что при каждом движении над звездой (как это видится при наблюдении с Земли) порождает мощный выброс радиоизлучения? Или же это планета, характер вращения которой таков, что определенная зона на ее поверхности излучает радиоволны в огромных количествах?

Однако для этого планета должна вращаться вокруг звезды или вокруг своей оси с периодом в несколько секунд или долей секунд, но это невозможно. Для таких быстрых пульсаций некий объект должен вращаться с огромной скоростью. А для этого требуется, чтобы его размеры были очень малы, температура велика, чтобы присутствовало мощное гравитационное поле, либо и то и другое. Белые карлики были слишком крупны, а их гравитационные поля — слишком слабы.

Томас Голд предположил, что в данном случае мы имеем дело с нейтронной звездой. Он указал, что нейтронная звезда имеет небольшие размеры и достаточно плотна для того, чтобы совершать поворот вокруг своей оси за четыре секунды или меньше. И более того, он выдвинул теорию о том, что нейтронная звезда должна иметь очень интенсивное магнитное поле и ее магнитные полюса не должны находиться на полюсе вращения. Электроны должны настолько прочно удерживаться притяжением нейтронной звезды, что могут появляться только на магнитных полюсах. По мере их выброса нейтронные звезды теряют энергию в виде радиоволн. Это означало бы, что существовал постоянный пучок радиоволн, появляющихся в двух противоположных точках поверхности нейтронной звезды.

Если по мере вращения нейтронной звезды один или оба этих пучка радиоволн распространяются в нашем направлении, то мы регистрируем короткий выброс энергии радиоволн один или два раза за время вращения. Если это так, то мы обнаружим только пульсары, которые имеют, как минимум, один магнитный полюс, расположенный в нашем направлении. Некоторые астрономы предполагают, что только одна нейтронная звезда из сотни обладает подобным свойством. Они догадываются, что в галактике может существовать не менее 100 тысяч нейтронных звезд, но только тысячу из них можно обнаружить с Земли.

Голд указывал, что если его теория верна и нейтронная звезда испускает энергию на магнитных полюсах, то период ее вращения должен постепенно возрастать. Это означает, что чем меньше период пульсара, тем он моложе и тем быстрее будет терять энергию.

Наиболее быстрый пульсар обнаружен в Крабовидной туманности. Он вполне может быть самым молодым, поскольку взрыв звезды, вспыхнувшей как сверхновая звезда, который мог породить нейтронную звезду, произошел всего тысячу лет назад.

Период пульсара в Крабовидной туманности тщательно изучался, и было обнаружено, что, как и предсказывал Голд, период увеличивался на 36,48 миллиардных долей секунды в день. Тот же феномен был открыт и у других пульсаров, и к началу 1970-х годов гипотеза о существовании нейтронных звезд получила широкое распространение.

Иногда период пульсара неожиданно плавно возрастает, затем снова замедляется. Некоторые астрономы предполагают, что это может происходить в результате «звездотрясения» — изменения распределения массы в нейтронной звезде. Или, возможно, это происходит в результате вторжения в нейтронную звезду некоего крупного тела, сообщающего ей импульс.

Конечно, не было причины, по которой электроны, появляющиеся из нейтронной звезды, должны были терять энергию только в радиодиапазоне от метровых до сантиметровых волн. Этот феномен должен был порождать волны по всему спектру, в рентгеновском и гамма-диапазоне, а также порождать и видимый свет.

Пристальное внимание было обращено на те области Крабовидной туманности, где могли существовать видимые остатки взрыва. С большой уверенностью в 1969 году было отмечено, что свет неяркой звезды в туманности мерцал не только с точностью пульсаций радиоволн. Это можно было обнаружить раньше, задайся астрономы целью исследовать подобные быстрые смены света и темноты. Пульсар Крабовидной туманности был первым обнаруженным оптическим пульсаром — первой видимой нейтронной звездой.

Пульсар Крабовидной туманности излучал также и рентгеновские лучи — около 5 процентов всего рентгеновского излучения

этой туманности. Связь между рентгеновским излучением и нейтронными звездами, которая казалась отвергнутой в 1964 году, триумфально вернулась к жизни.

Оппенгеймер, определив в 1939 году свойства нейтронной звезды, предсказывал также, что достаточно массивная и холодная звезда в результате коллапса могла превратиться в ничто. Когда подобное разрушение происходило до стадии нейтронной звезды, гравитационное поле должно было стать столь интенсивным, что ни материя, ни свет не смогли бы его преодолеть. Больше ничего не возможно было бы увидеть; в космосе образовалась бы черная дыра.

Будет ли возможно когда-нибудь в будущем обнаруживать подобные черные дыры — безусловно, самые странные объекты во Вселенной? Время покажет.

Являются ли квазары скоплениями нейтронных звезд? Связан ли их феномен с формированием черных дыр? Поживем — увидим.

Однако, если во Вселенной существуют объекты, которые удивляют нас, сюрпризы таятся также и в огромных межзвездных пространствах. Непустота «пустого» космоса стала представлять большую сложность для астрономов при проведении наблюдений относительно близко к дому.

В этом смысле самой сложной для наблюдения галактикой является наша собственная. Мы заключены в ней, в то время как другие галактики можно целиком рассматривать снаружи. Это сродни разнице между попыткой рассмотреть город с крыши небольшого здания и с самолета. Более того, мы находимся далеко от центра Галактики, и, что еще хуже, находимся на спиральной ветви, заполненной газопылевой материей. Другими словами, мы находимся на крыше здания, расположенного на окраине города, да еще в туманный день.

В общем, пространство между звездами не является чистым вакуумом. Существует тонкая прослойка газопылевой материи, распределенной в межзвездном пространстве внутри галактик. Линии поглощения в спектрах были впервые обнаружены благодаря этому «межзвездному газу» в 1904 году немецким астрономом Иоганном Францем Гартманом. Это было обнадеживающее открытие. Однако трудность заключается в том, что на окраине галактики газопылевая материя становится значительно плотнее. Мы можем наблюдать подобные темные скопления, опоясывающие ближайшие галактики.

Мы видим «облака пыли» в нашей собственной Галактике, как темные области на Млечном Пути. Примером может служить внушительная туманность, называемая Угольный Мешок, в Южном Кресте, область разбросанных частиц пыли диаметром 30 световых лет, расположенная на расстоянии около 400 световых лет от Земли.

Хотя газопылевые облака скрывают спиральные ветви Галактики от непосредственного наблюдения, они не скрывают их структуры при исследовании спектроскопом. Атомы водорода газопылевой материи ионизированы (они расщепляются на электрически заряженные субатомные частицы) излучением энергий ярких звезд первого поколения. Начиная с 1951 года полосы ионизованного водорода были обнаружены американским астрономом Уильямом Уилсоном Морганом. Их спектры были похожи на спектры спиральных ветвей галактики Андромеды.

Ближайшие подобные полосы ионизованного водорода расположены в созвездии Орион и поэтому называются ветвями Ориона. Наша Солнечная система находится на этой ветви. Две другие ветви были обнаружены таким же образом. Одна располагается дальше от центра Галактики, чем наша, и включает гигантские звезды в созвездии Персей (ветвь Персея). Другая располагается ближе к центру Галактики и содержит яркие облака созвездия Стрелец (ветвь Стрельца). Каждая ветвь имеет протяженность приблизительно 10 000 световых лет.

Затем измерение космического радио стало более мощным инструментом. Оно не только помогало проникать сквозь газопылевые облака, но в конце концов позволило узнать их историю с помощью их же собственного голоса. Произошло это в результате открытия, сделанного голландским астрономом Х. Ван де Хальстом. В 1944 году Нидерланды находились под тяжелым сапогом нацистской армии и астрономические наблюдения были практически невозможны. Ван де Хальст, ограничившись исключительно научной работой, изучал характеристики обычных неионизированных атомов водорода, из которых состоит большая часть межзвездной газовой материи.

Он предположил, что каждый раз в определенное время такие атомы при столкновении должны изменять свою энергию, излучая при этом слабые радиоволны. Отдельный атом водорода мог сделать это только один раз за 11 миллионов лет, но среди огромного количества атомов, присутствующих в межгалактическом пространстве, в каждый момент времени достаточное их количество излучало волны для того, чтобы создать постоянно регистрируемое излучение.

Ван де Хальст вычислил, что длина волны излучения должна составлять 21 сантиметр. С развитием новых радиотехнологий после Второй мировой войны эта «песня водорода» была обнаружена в 1951 году Эдуардом Миллсом Парселлом и Гарольдом Ирвингом Эвеном из Гарвардского университета.

При настройке на 21-сантиметровое излучение скоплений водорода астрономы смогли обнаружить спиральные ветви и проследить их на больших расстояниях — в большинстве случаев почти на всем пути через Галактику. Были обнаружены и другие ветви.

Но что еще важнее, из «песни водорода» стало возможно узнать о движении атомов. Как и все волны, это излучение подчиняется эффекту Доплера—Физо. Это позволяет астрономам измерять скорость движущихся облаков водорода и исследовать, наряду с другими параметрами, вращение нашей Галактики. Эта новая технология подтвердила, что Галактика вращается с периодом (при нашей удаленности от ее центра), равным 200 миллионам лет.

В науке каждое новое открытие распахивает двери к новым тайнам. При этом наиболее прогрессивны открытия, которые переворачивают уже сложившиеся представления. Интересным примером может служить загадочный феномен, выявленный при изучении с помощью радиометрии концентрации водорода в нашей Галактике. Кажется, что водород расширяется, при этом он ограничен плоскостью экватора Галактики. Но почему тогда он не весь распределен за долгое время существования Галактики? Возможно, это знак того, что, как предполагает Оорт, 10 миллионов лет назад центр Галактики взорвался, как недавно — М82? И еще, плоскость водорода снижается на одном конце Галактики и поднимается — на другом. Почему? Пока еще не предложено ни одного достоверного объяснения.

Водород не уникален, или не должен быть уникален, в связи с радиоволнами. Любой атом, или сочетание атомов, может излучать характерные радиоволны или поглощать их из общего фона. Естественно, что астрономы пытались найти следы атомов, отличных от обычного водорода.

Почти весь водород, встречающийся в природе, представлен простой модификацией, называемой протий. Существует и более сложная форма, которая называется дейтерий. Исследовалась длина волн излучения различных источников в космосе. В 1966 году было установлено, что количество дейтерия во Вселенной составляет около 5 процентов количества протия.

Следующие по разнообразию за водородом — общим компонентом Вселенной — идут гелий и кислород. Атом кислорода может соединяться с атомом водорода для образования гидроксильной группы. Это соединение нестабильно на Земле, поскольку гидроксильная группа очень активна и будет объединяться с практически любым встреченным ею атомом или молекулой. Особенно активна она при соединении со вторым атомом водорода для образования молекулы воды. Однако в межзвездном пространстве, где атомы распределены настолько редко, что столкновения происходят нечасто, образовавшаяся гидроксильная группа будет оставаться нетронутой в течение продолжительного времени. Этот факт отметил в 1953 году советский астроном И. Шкловский.

Гидроксильная группа, как показали вычисления, излучает или поглощает четыре вида радиоволн определенной длины. В октяб-

ре 1963 года два из них обнаружила команда радиоинженеров в лаборатории Линкольна.

Поскольку гидроксильная группа имеет массу в 17 раз больше массы отдельного атома водорода, она более инертна и при любой температуре перемещается со скоростью, равной четверти скорости движения атома водорода. В общем, движение размывает длины волн таким образом, что длина волны гидроксильной группы оказывается острее, чем длина волны атома водорода. Ее смещения более наглядны, поэтому проще определить, приближается или удаляется облако газа, содержащее такую группу.

Астрономы были обрадованы, найдя доказательства существования двухатомного соединения в огромных межзвездных просторах. Они принялись за поиски других соединений, не имея особых надежд. Атомы настолько рассеяны в межзвездном пространстве, что шанс на то, что два атома, движущиеся вместе достаточно долгое время, образуют соединение, очень невелик. Возможность того, что атомы, менее распространенные, чем атомы кислорода, такие, как углерод и азот, следующие по распространенности среди элементов, имеющих способность образовывать соединения, эти соединения образуют, вообще не рассматривалась.

Однако в 1968 году произошли действительно удивительные события. В ноябре были обнаружены следы радиоволн в молекулах воды (H_2O). Эти молекулы состояли из двух атомов водорода и одного атома кислорода — три атома вместе. В том же месяце, что еще более удивительно, были обнаружены молекулы аммиака (NH_3). Они состояли из четырех атомов: трех атомов водорода и одного атома азота.

В 1969 году было обнаружено другое четырехатомное соединение, содержащее атом углерода, — формальдегид (H_2CO).

В 1970 году были сделаны новые открытия — в том числе обнаружена пятиатомная молекула, цианоацетилен, которая состояла из цепи трех атомов углерода ($HCCCN$). А затем как кульминация этого года был обнаружен метиловый спирт, молекула которого состояла из шести атомов (CH_3OH).

Астрономы поняли, что положено начало совершенно новой и неизвестной прежде области науки, называемой *астрохимия*.

Как атомы собираются для формирования таких сложных молекул и как такие молекулы могут сохраняться в условиях мощных потоков радиации, излучаемой звездами, которая должна была бы расщеплять их, астрономы объяснить не могли. Но, судя по всему, эти молекулы формировались при таких условиях, при которых межзвездное пространство не настолько пусто, как полагали раньше, — возможно, это происходило в областях, где пылевая материя концентрируется в направлении формирования звезд.

Если это так, то могут быть обнаружены и более сложные молекулы, и их присутствие совершит революционный переворот в наших взглядах на формирование планет и на развитие жизни на этих планетах. Астрономы жадно исследуют области с излучением радиоволн в поисках следов других молекул.

Глава 3

ЗЕМЛЯ

Рождение Солнечной системы

Сколь ни удивительны бесконечные глубины Вселенной и сколь ни мала Земля по сравнению с ними, мы все же живем на Земле и должны возвратиться к ней.

Во времена Ньютона стало возможным размышлять о формировании Земли и Солнечной системы как проблеме, отдельной от формирования всей Вселенной. Солнечная система представлялась структурой с определенными объединяющими характеристиками:

1. Все главные планеты вращаются вокруг Солнца приблизительно в плоскости его экватора. Иначе говоря, если бы нам нужно было создать трехмерную модель Солнца и планет, мы обнаружили бы, что для этого подойдет очень плоская сковорода.

2. Все главные планеты вращаются вокруг Солнца в одном и том же направлении — против часовой стрелки, если смотреть на Солнечную систему от Полярной звезды.

3. Каждая главная планета (за некоторыми исключениями) вращается вокруг своей оси в том же направлении, против часовой стрелки, что и направление ее вращения вокруг Солнца, и само Солнце также вращается против часовой стрелки.

4. Планеты расположены на плавно увеличивающихся расстояниях от Солнца и имеют практически круглые орбиты.

5. Все спутники, за редкими исключениями, вращаются вокруг соответствующих планет по почти круглым орбитам в плоскости экватора этих планет, и тоже в направлении против часовой стрелки.

Общая закономерность этой картины позволяет предположить, что система целиком возникла в результате единого процесса.

Но что же это за процесс, в результате которого образовалась Солнечная система? Все теории, выдвинутые до настоящего времени, относятся к двум типам: катастрофические и эволюционные. Катастрофические теории основаны на том, что Солнце сформировалось в одиночестве и обрело планетарную семью в результате какого-то катастрофического события. Приверженцы эволюционных теорий придерживаются той точки зрения, что вся система сформировалась методично.

В XVIII веке, когда ученые все еще находились под гнетом библейской теории о таких событиях, как Всемирный потоп, было модным предполагать, что история Земли изобиловала страшными катастрофами. Почему бы одной суперкатастрофе не положить начало всему? Наибольшей популярностью пользовалось предположение французского натуралиста Жоржа Луи Леклерка де Бюффона о том, что Солнечная система сформировалась из обломков, появившихся в результате столкновения Солнца с кометой. Однако теория Бюффона исчезла, когда было обнаружено, что кометы не что иное, как пучки сверхтонкой пыли.

В XIX веке, когда в почете были концепции длительных естественных процессов, такие, как принцип однородности Хаттона, катастрофы вышли из моды. Вместо этого ученые все больше и больше склонялись к теориям, включающим эволюционные процессы, следуя скорее за Ньютоном, чем за Библией.

Сам Ньютон предполагал, что Солнечная система могла быть создана из тонкого облака газопылевой материи, которое медленно концентрировалось под действием силы притяжения. По мере того как частицы собирались вместе, гравитационное поле становилось все более интенсивным, конденсация ускорялась, и наконец вся масса превратилась в плотное тело (Солнце), раскалившееся за счет энергии сжатия.

В сущности, это основа большинства современных популярных теорий о происхождении Солнечной системы. Но для того чтобы устранить все сомнения, необходимо объяснить ряд проблем. Например, как могли частицы сильно разреженного газа сближаться при такой чрезвычайно низкой гравитации? В последние годы ученые сочли более вероятным другой механизм — давление света. Частицы в космосе бомбардируются излучением со всех сторон, но если две частицы сходятся достаточно близко, чтобы заслонить друг друга, то они будут подвергаться меньшему давлению излучения с затемненной, чем с незатемненной стороны. Разница давления будет стремиться толкнуть их навстречу друг другу. А гравитация будет ускорять их сближение.

Если таким образом появилось Солнце, то что можно сказать о планетах? Откуда они взялись? Первые попытки ответить на этот вопрос предпринял Иммануил Кант в 1755 году и независимо от него французский астроном и математик Пьер Симон Лаплас в 1796 году. Картина, представленная Лапласом, была более подробной.

По теории Лапласа, огромное, сжимающееся облако материи вращалось, и с этого все началось. По мере сжатия скорость его вращения увеличивалась, в точности как увеличивается скорость конькобежца, когда он опускает руки. Это происходит благодаря закону сохранения момента количества движения. Поскольку момент количества движения пропорционален произведению скорости вращения на расстояние от центра вращения, при умень-

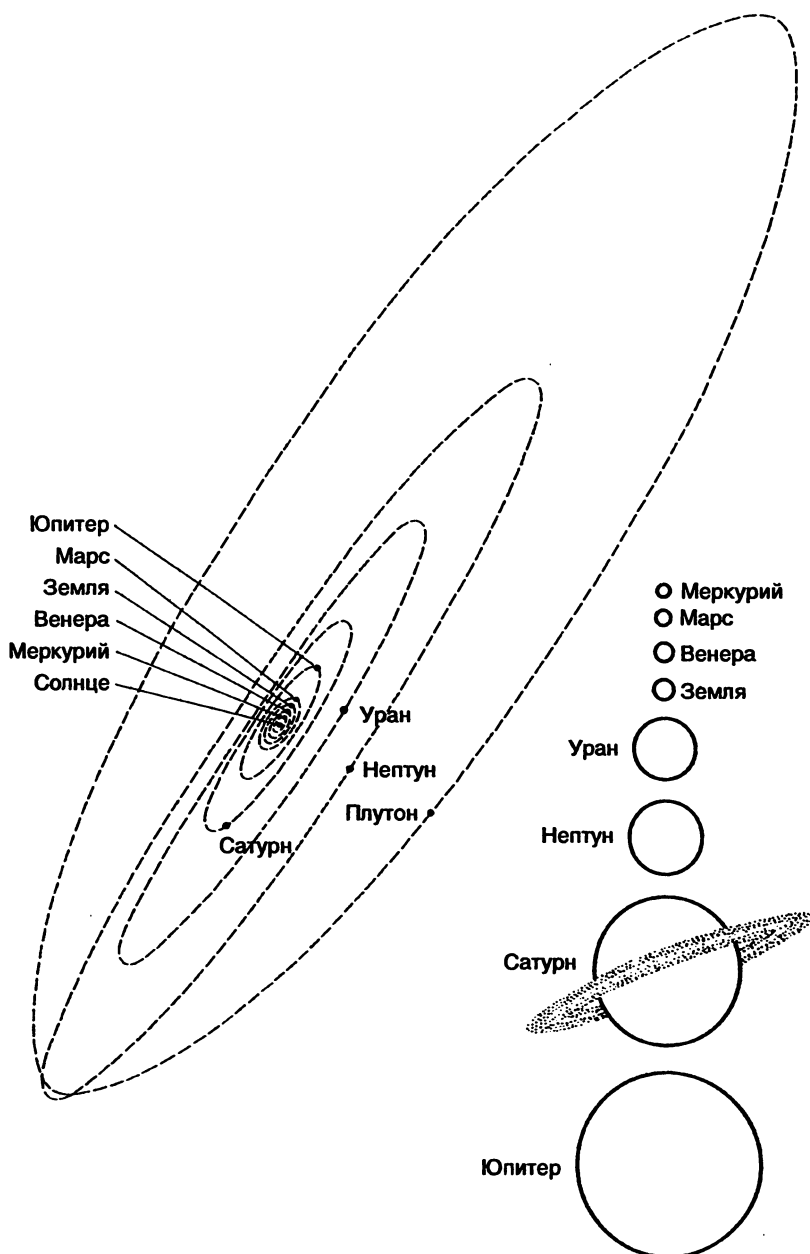
шении этого расстояния скорость вращения возрастает. А по мере увеличения скорости вращения облака, согласно Лапласу, с быстро вращающегося экватора стало сбрасываться кольцо материи. Это несколько уменьшило момент количества движения, и оставшееся облако замедлилось, но, поскольку сжималось до этого, оно снова достигло скорости, при которой сбросило еще одно кольцо материи. Таким образом, Солнце оставило ряд тороидальных колец — облаков материи. Эти кольца, по предположению Лапласа, медленно концентрировались и в конце концов образовали планеты, и по мере формирования те, в свою очередь, выбрасывали кольца материи, которые сформировали их спутники.

Космогоническая гипотеза Лапласа, как казалось, хорошо объясняла основные свойства Солнечной системы. Например, кольца Сатурна могли быть кольцами спутников, которые не смогли свернуться. (Взятые вместе, они на самом деле могли сформировать спутник внушительного размера.) Аналогично все астероиды, вращающиеся вокруг Солнца между Марсом и Юпитером, могли быть остатками частей кольца, которое не объединилось с другими в процессе формирования планеты. А когда Гельмгольц и Кельвин разработали теории, приписывающие энергию Солнца его медленному сжатию, это также оказалось похожим на картинку, представленную Лапласом.

Космогоническая гипотеза была актуальной на протяжении большей части XIX века, но к концу века начали проявляться ее фатальные изъяны. В 1859 году Джеймс Клерк Максвелл, математически анализируя кольца Сатурна, показал, что кольцо газообразной материи, выброшенное любым телом, могло лишь сконцентрироваться в скопление небольших частиц, как кольца Сатурна; оно никогда не образовало бы твердого тела, поскольку силы гравитации растащили бы кольцо до того, как оно материализовалось.

Кроме того, встала и проблема момента количества движения (МКД). Получалось, что планеты, составляющие всего лишь чуть более 0,1 процента массы всей Солнечной системы, несли 98 процентов ее общего МКД! Только Юпитер обладает 60 процентами всего МКД Солнечной системы. Тогда на Солнце оставалась лишь небольшая доля МКД изначального облака. Как мог почти весь МКД распределиться по небольшим кольцам, отщепившимся от туманности? Проблема стала загадочной, а в случае Юпитера и Сатурна, имеющих системы спутников, которые напоминают Солнечную систему в миниатюре и, возможно, были образованы подобным же образом, центральное планетарное тело сохраняет большую часть МКД.

К 1900 году космогоническая гипотеза настолько изжила себя, что идея о любом эволюционном процессе казалась несостоятельной. Ее место снова заняла теория катастроф. В 1905 году два американских ученых, Томас Краудер Чемберлен и Форест



План Солнечной системы и сравнительные размеры планет

Рэй Мултон, предложили новую теорию, на этот раз объясняющую появление планет столкновениями Солнца с другими звездами. В результате столкновения выброс газообразной материи произошел с обеих сторон, и облака материи, оставшиеся в окрестностях Солнца, впоследствии сконцентрировались в небольшие *планетезимали*, а они — в планеты. Такова была «гипотеза о планетезималях». Что же касается проблемы МКД, британские ученые Джеймс Хопвуд Джинс и Гарольд Джеффрис предложили в 1918 году «приливную теорию», согласно которой сила притяжения Солнца придавала разрозненным массам газа своего рода толчок и таким образом сообщила им МКД. Если подобная катастрофическая теория верна, то планетарные системы должны были бы быть крайне скудными. Звезды настолько удалены друг от друга, что их столкновения в 10 000 раз более редкое явление, чем сверхновые звезды, которые и сами по себе не есть нечто обыденное. Предполагается, что в течение жизни галактики происходило не более 10 столкновений подобного рода, которые могли бы дать жизнь Солнечной системе, согласно этой теории.

Однако эти начальные попытки объяснить возникновение Солнечной системы в результате катастроф оказались неудачными при проведении математического анализа. Рассел показал, что при любом подобном столкновении планеты прекратили бы существование тысячи раз на том расстоянии от Солнца, на котором они действительно находятся. Более того, попытки модифицировать теорию с помощью воображения разнообразия действительных столкновений, имели небольшой успех. В течение 30-х годов XX века Литтлтон рассуждал о возможности столкновения трех звезд, а позднее Хойл предположил, что у Солнца был спутник, который превратился в сверхновую звезду и оставил планеты как свое наследие. Однако в 1939 году американский астроном Лайман Спитцер показал, что любая материя, выброшенная из Солнца при любых обстоятельствах, была бы столь горячей, что не смогла бы сконцентрироваться в планетезималь, а просто превратилась бы в тонкие слои газа. Это казалось концом всех идей о катастрофе (хотя в 1965 году британский астроном М. Вулфсон дал очередной толчок к развитию этой идеи, предположив, что Солнце могло почерпнуть планетарный материал с очень холодной звезды, так что не потребовалась крайне высокая температура).

Таким образом, после того, как теория планетезималей исчерпала себя, астрономы вернулись к эволюционной идее возникновения Солнечной системы и по-другому взглянули на гипотезу Лапласа.

К этому времени их взгляды на Вселенную значительно расширились. Теперь они должны были учитывать формирование галактик. Конечно, это требовало значительно больших облаков газа и пыли, которые Лаплас определял как изначальный ма-

териал формирования Солнечной системы. А теперь оказывалось, что подобные скопления материи должны были испытывать турбулентность и должны были распасться на вихревые потоки, каждый из которых мог сконцентрироваться в отдельную систему.

В 1944 году немецкий астроном Карл Ф. фон Вайцзеккер тщательно проанализировал эту идею. Он вычислил, что самые крупные вихревые потоки должны были содержать достаточно материи для формирования галактик. Во время турбулентного сжатия такого потока могли появляться более мелкие потоки. Каждый из таких потоков мог оказаться достаточно крупным для того, чтобы дать жизнь Солнечной системе (с одним или более солнцами). На окраине самого солнечного вихревого потока более мелкие потоки могли дать начало планетам. Это могло происходить при объединении встречных потоков, движущихся друг относительно друга подобно зацепляющимся шестеренкам; в подобных местах частицы пыли могли сталкиваться и соединяться. В результате этих столкновений могли сформироваться первые планетезимали, а затем и первые планеты.

Теория Вейцзекера сама по себе не решала вопроса о МКД планет лучше, чем это делала куда более простая версия, предложенная Лапласом. Шведский астрофизик Ханнес Олоф Госта Альвен учел магнитное поле Солнца. По мере того как молодое Солнце быстро вращалось, его магнитное поле действовало в качестве тормоза, замедляя его, и МКД передавался планетам. Хойл разработал эту идею, и теория Вейцзекера, измененная с учетом сил магнитного поля и гравитации, пока кажется лучшей теорией возникновения Солнечной системы.

Однако сохраняются аспекты, которые ни одна из общих теорий формирования Солнечной системы не может легко учесть и которые, возможно, требуют дополнительных, более мелких теорий. Например, существуют кометы, небольшие тела на очень протяженных орбитах, которые вращаются вокруг Солнца с периодом в десятки, сотни и даже тысячи лет. Их орбиты совершенно не похожи на орбиты планет; они входят во внутреннюю Солнечную систему под любыми углами; они частично состоят из света, медленно плавящихся веществ, которые испаряются по мере роста температуры, когда кометы приближаются к Солнцу.

В 1950 году Оорт предположил существование огромной оболочки небольших ледяных тел, медленно вращающихся вокруг Солнца на расстоянии одного светового года или больше. Всего их могло быть около 100 миллиардов. Это материя, оставшаяся от изначального облака пыли и газа, сконцентрировавшегося для формирования Солнечной системы, материал, распространенный слишком далеко для того, чтобы быть эффективно захваченным силами притяжения, и существующей в виде наиболее удаленной оболочки.

Они должны были оставаться невозмущенными на своей орбите. Но в любой момент некоторые сочетания гравитационных влияний близко расположенных звезд могли замедлить движение того или другого тела, позволив ему упасть в направлении Солнечной системы, обернуться вокруг Солнца и уйти в облако. При этом они приближаются со всех возможных направлений. Если проходят близко к большим внешним планетам, сила планетарного притяжения может еще больше изменить их орбиты и они навсегда останутся в пределах планетарной системы. Внутри планетарной системы влияние Солнца за счет нагрева и испарения разрушает их вещество за очень короткое время. Однако существует много мест, откуда они появляются, так как Оорт прогнозирует, что только 20 процентов общего вещества комет направлено в сторону Солнца за все миллиарды лет существования Солнечной системы.

Второе несовпадение состоит в том, что существуют планетоиды, группа десятков тысяч небольших планетарных тел (самое крупное из них имеет диаметр меньше 500 миль; самое мелкое — меньше мили), которые, по большей части, находятся между орбитами Марса и Юпитера. Если бы существовала единая зависимость для расстояния между планетами, астрономы могли бы предполагать нахождение планеты в районе расположения самого крупного планетоида. Действительно ли здесь когда-то существовала планета? Взорвалась ли она по какой-то причине, вызвав разброс осколков? Происходили ли в последующем более мелкие взрывы, которые могли бы стать причиной удлинения орбит некоторых планетоидов, в то время как у других орбиты были необычно наклонными (при том, что все они вращаются более или менее в направлении против часовой стрелки)? Или из-за перекрывающего влияния гравитационного поля расположенного рядом гиганта Юпитера облако в пространстве между Марсом и Юпитером сплывало в планетезимали, но не в отдельную планету? Точного ответа пока нет — проблема происхождения планетоидов остается открытой.

Плутон, наиболее удаленная планета Солнечной системы, впервые обнаруженная американским астрономом Клайдом Уильямом Томбо, порождает еще одну проблему. Другие удаленные планеты — Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун — крупные, газообразные, с большой скоростью вращающиеся планеты-гиганты; Плутон же небольшой, плотный, и период его обращения составляет 6,4 дня. Более того, его орбита удлинена больше, чем орбита любой другой планеты, и он наклонен к общей плоскости вращения на больший угол, чем любая другая планета. Его орбита настолько растянута, что, когда он приближается к ее части, наиболее близкой к Солнцу, он в течение 20 лет или около того находится ближе к Солнцу, чем может приблизиться Нептун.

Некоторые астрономы интересуются, мог ли Плутон когда-нибудь быть спутником Нептуна. Он слишком крупный для этого, но эта гипотеза учитывает его медленное вращение, поскольку 6,4 дня могло быть временем его обращения вокруг Нептуна — вращение, равное периоду обращения, как и в случае Луны. Возможно, крупная космическая катастрофа освободила Плутон от власти Нептуна и отправила его по удлинённой орбите. Та же самая катастрофа могла заставить Тритон, крупный спутник Нептуна, вращаться по орбите, значительно удалённой от экватора Нептуна, и приблизила Нептун к Солнцу, поскольку его орбита должна быть значительно дальше, если следовать равномерно увеличивающемуся расстоянию между последовательными планетами. К сожалению, у астрономов нет ни малейшей идеи о характере космической катастрофы, которая могла привести ко всем этим последствиям.

Вращение планет также ставит перед учеными немало проблем. В идеале все планеты должны вращаться в направлении против часовой стрелки (как это видно с точки над Северным полюсом Земли), и оси их вращения перпендикулярны плоскости вращения вокруг Солнца. Это действительно справедливо в отношении самого Солнца и Юпитера, двух главных тел в Солнечной системе, но существуют загадочные отклонения других планет, плоскость вращения которых мы можем измерить.

Земная ось наклонена примерно на $23,5^\circ$ к вертикали, в то время как оси Марса, Сатурна и Нептуна наклонены на 25, 27 и 29 градусов соответственно. Уран представляет еще более крайний случай, поскольку его ось, наклонённая на 98° — или немногим больше, чем на прямой угол, — составляет одну линию с плоскостью вращения. У Урана имеется пять небольших спутников, орбиты которых наклонены так, что остаются в плоскости экватора Урана.

Что заставило столько планет наклониться и что заставило Уран наклониться столь сильно, по-прежнему остается загадкой, но не большей загадкой, чем представляет собой Венера. В течение долгого времени астрономы понимали, что, когда небольшое тело вращается вокруг более крупного, приливные напряжения замедляют вращение небольшого тела, пока оно полностью не сойдется одной стороной с более крупным телом, совершающим один оборот за одно вращение. Это справедливо, например, для Луны, так как она вращается вокруг своей оси (и обращается вокруг Земли) один раз за 29,5 дня.

Казалось, очень похожая ситуация наблюдается в случае Меркурия и Венеры, которые, будучи близко расположенными к Солнцу, похожим образом замедлялись, и обе планеты совершали один полный оборот — Меркурий за 88 дней, Венера — за 225 дней. Меркурий сложно наблюдать, поскольку он небольшой, далек от Земли и крайне близок к скрывающему его свету

Солнца. Однако еще в 80-х годах XIX века итальянский астроном Джованни Скипарелли заметил расплывчатые метки на поверхности Меркурия и использовал их для измерения периода его вращения. Он решил, что Меркурий делал полный оборот за 88 дней.

Случай Венеры оказался куда более сложным. Вечный слой облаков постоянно и целиком скрывал поверхность этой планеты, по крайней мере для невооруженного глаза. Никаких отметок не было видно, и вплоть до 1960-х годов не представлялось возможным определить период обращения ближайшей планеты, хотя период обращения далекого Плутона был известен.

Однако в 1960-х годах стало возможно «увидеть» астрономические тела при помощи средства, отличного от отражения световых волн. Появилась возможность направлять в сторону подобных тел узкие пучки радиоволн, и отраженный луч можно было уловить на Земле. В 1946 году подобный опыт был проведен с Луной. Короткие радиоволны представляли собой волны того типа, которые применяются в радарх, и так родилась «радарная астрономия».

Однако радарные отражения от Луны имели меньшую важность, поскольку поверхность Луны можно очень хорошо разглядеть с помощью отражения обычного солнечного света. Но что же с Венерой? Радарные волны могли пробиться сквозь слой облаков и отразиться от поверхности планеты. В 1961 году этот опыт выполнили группы ученых в Соединенных Штатах, Великобритании и Советском Союзе. По времени, которое заняло прохождение радарных волн до Венеры и обратно, можно было более точно определить расстояние до нее (а следовательно, и все расстояния в Солнечной системе). Через непродолжительное время радарный контакт был установлен также и с Меркурием; впервые это сделали в 1962 году советские ученые.

Природа отраженного пучка радара изменяется в зависимости от того, гладкая или шероховатая поверхность контакта и вращается ли она. Контакт с шероховатой поверхностью приводит к расширению отраженного пучка, в то время как вращение стремится расширять диапазон длин волн. Степень изменений зависит от степени шероховатости и от скорости вращения.

В 1965 году природа отраженного от Меркурия радарного пучка открыла американским ученым Рольфу Дайсу и Г. Петтенджиллу, что Меркурий вращается быстрее, чем предполагалось. Период его вращения составлял не 88, а 59 дней! Это открытие, которое было оптически подтверждено в 1968 году, стало большим сюрпризом, но астрономы быстро оправались. Период вращения Меркурия составлял лишь две трети периода его обращения, а это означало, что он поворачивался к Солнцу разной поверхностью в каждом перигелии — ближайшей к Солнцу орбите. Были изучены приливные эффекты, и было обнаружено, что ситуация с ними стабильна и может учитываться.

С Венерой и в этом случае все оказалось по-другому. От того факта, что радарный пучок сообщил информацию о твердой поверхности планеты, ученые испытывали удовлетворение — это невозможно было подтвердить с помощью световых волн.

В конце 1965 года было установлено, что на Венере существовало, как минимум, два крупных горных хребта. Один из них простирается с севера на юг примерно на 2000 миль и имеет ширину несколько сотен миль. Другой, еще более крупный, проходит с юстока на запад. Хребты были названы по первым буквам греческого алфавита, горы Альфа и горы Бета.

Но еще раньше, в 1964 году, было обнаружено, что Венера вращается медленно. Раньше считалось, что период вращения составляет 225 дней. Теперь его считали равным 243 дням, и ось вращения была перпендикулярна плоскости вращения. Разочаровывало то, что период вращения не был равен 225 дням, то есть периоду обращения, ведь это предполагалось ранее и легко объяснилось. Что действительно изумило астрономов, так это «неправильное» направление вращения планеты. Венера вращалась по часовой стрелке (если смотреть с точки над Северным полюсом Земли), с востока на запад, вместо того чтобы вращаться с запада на восток, как все другие планеты, за исключением Урана. Венера как будто стояла на голове, и ее Северный полюс находился вверх, а Южный — вниз.

Почему? До сих пор никто не может предложить никакого объяснения.

Более того, время вращения таково, что каждый раз, когда Венера максимально приближается к Земле, она поворачивается к нам одной и той же стороной, скрытой за облаками. Может ли это быть следствием некоего гравитационного влияния Земли на Венеру? Но как может небольшая и удаленная Земля соперничать с куда более далеким, но гораздо более крупным Солнцем? Это тоже заставляет задуматься, так что во второй половине 1960-х годов Венера оказалась планетой-загадкой в Солнечной системе.

А ведь существуют загадки, еще более близкие к нам. Например, Луна является чрезвычайно крупной. Ее масса составляет $\frac{1}{81}$ массы Земли. Никакой другой спутник в Солнечной системе не сравнится по размерам с планетой, вокруг которой вращается. Больше того, Луна не вращается вокруг Земли в плоскости земного экватора, но имеет орбиту, в значительной степени наклоненную к этой плоскости — орбиту, которая более близка к плоскости, в которой планеты обычно вращаются вокруг Солнца. Возможно, Луна изначально не была спутником Земли и каким-то образом Земля захватила планету? А может, Земля и Луна — планеты-близнецы?

Возрастающее любопытство по поводу происхождения Луны и прошлая история системы Земля—Луна — это один из мотивов,

который привел ученых к таким захватывающим исследованиям поверхности Луны, вплоть до высадки человека на поверхность этого нашего спутника.

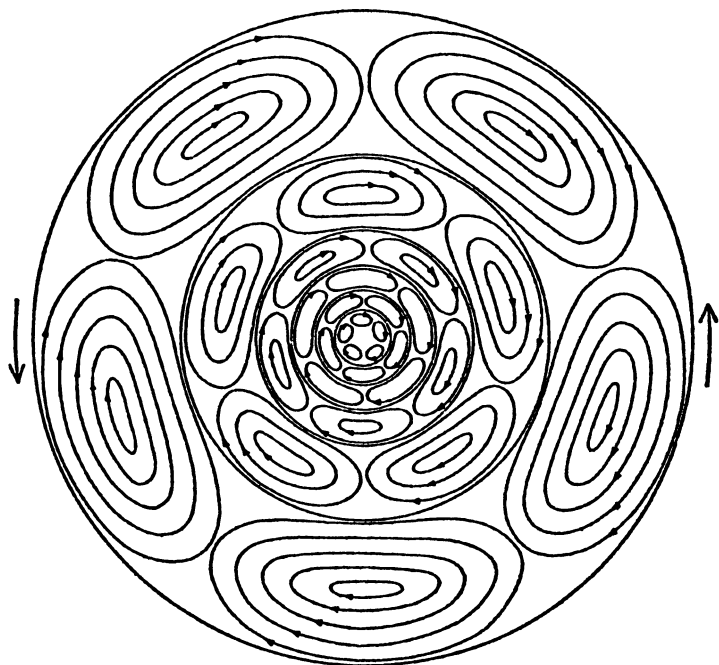
О форме и размерах

Один из главных моментов, вдохновляющих древних греков, заключался в их предположении о том, что Земля имеет сферическую форму. Они изначально вынашивали эту идею (история приписывает это открытие Пифагору, около 525 года), основанную на философских выводах, — сфера являла собой совершенную форму. Однако греки проверяли свои предположения. Около 350 года Аристотель упорядочил заключительные доказательства того, что Земля не плоская, а круглая. Его наиболее весомый аргумент заключался в том, что по мере перемещения человека с севера на юг новые звезды появлялись над горизонтом спереди, а видимые исчезали сзади. Также у кораблей, удаляющихся по морю, исчезали из вида сначала корпуса, в каком бы направлении они ни двигались. Поперечное сечение тени Земли на Луне в течение лунного затмения представляло собой круг, независимо от положения Луны. Оба последних факта могли быть действительными, только если Земля представляла собой сферу.

Как минимум, в среде ученых идея о том, что Земля является сферой, не исчезала никогда, даже во времена Средневековья. Итальянский поэт Данте Алигьери предполагал, что Земля круглая, в своей «Божественной комедии».

Когда возникла мысль о вращающейся сфере, это был совершенно другой взгляд. Еще в 350 году греческий философ Гераклит из Понта предположил, что гораздо проще считать, что Земля вращается вокруг своей оси, чем то, что небеса вращаются вокруг Земли. Однако этот факт отказались принять большинство древних и средневековых ученых, и позже, в 1632 году, Галилей был осужден инквизицией в Риме и принужден отказаться от своей веры во вращение Земли.

Тем не менее теория Коперника сделала представления о неподвижной Земле совершенно нелогичными, и постепенно ее вращение было принято всеми. Однако только в 1851 году это вращение было продемонстрировано экспериментально. Французский физик Жан Бернар Леон Фуко установил огромный маятник, который колебался, будучи прикрепленным к куполу парижской церкви. В соответствии с заключениями физика такой маятник должен был совершать колебания в фиксированной плоскости, независимо от вращения Земли. Например, на Северном полюсе маятник колебался бы в фиксированной плоскости,



Модель происхождения Солнечной системы Карла фон Вайцзеккера. Его теория основывается на том, что огромное облако в процессе вихревого движения расслоилось, а затем образовались Солнце, планеты и их спутники

в то время как Земля вращалась бы под ним в направлении против часовой стрелки в течение 24 часов. Поскольку человека, наблюдавшего за колебаниями маятника, уносила бы Земля (представлявшаяся ему неподвижной), ему казалось бы, что плоскость колебаний маятника поворачивается по часовой стрелке за один оборот в течение каждых 24 часов. На Южном полюсе происходило бы то же самое, за исключением того, что плоскость колебаний маятника поворачивалась бы по часовой стрелке.

На высоте ниже полюсов плоскость колебаний маятника продолжала бы поворачиваться (по часовой стрелке в Северном полушарии и против часовой стрелки — в Южном), но в течение все более увеличивающегося периода, по мере удаления наблюдателя от полюсов. На экваторе плоскость колебаний маятника не изменялась бы совсем.

Во время эксперимента Фуко наблюдатель своими глазами мог видеть вращение Земли под маятником.

Вращение Земли несет с собой множество следствий. Точка на земной поверхности движется быстрее всего на экваторе, где она должна совершить круг диаметром 25 000 миль за 24 часа, двига-

ясь со скоростью более 1000 миль в час. По мере удаления от экватора на север или на юг точка на поверхности Земли должна двигаться медленнее, поскольку она проходит меньший круг за те же 24 часа. Около полюсов этот круг очень мал, и на полюсах поверхность Земли неподвижна.

Воздух также принимает участие в движении поверхности Земли, над которой он парит. Если масса воздуха движется на север от экватора, его собственная скорость (совпадающая со скоростью экватора) больше, чем скорость поверхности Земли, к которой он устремляется. Он догоняет поверхность Земли при движении с запада на восток и дрейфует в восточном направлении. Этот дрейф является примером эффекта Кориолиса, названного так в честь французского математика Гаспара Густава де Кориолиса, который первым изучил его в 1835 году.

Влияние подобного эффекта Кориолиса на воздушные массы заключается в том, что он заставляет их вращаться по часовой стрелке в Северном полушарии. В Южном полушарии эффект имеет обратное направление, и происходит поворот против часовой стрелки. В любом случае имеют место циклонные нарушения равновесия. Массивные штормы подобного рода называются ураганами в Северной Атлантике и тайфунами на Тихоокеанском Севере. Не такие крупные, но более интенсивные штормы такого рода называют циклонами или торнадо. Над морем подобные разрушительные штормы называют смерчами.

Однако наиболее захватывающий вывод из вращения Земли был сделан за два века до того, как Фуко провел свой эксперимент, во времена Исаака Ньютона. К тому времени идея о том, что Земля имеет форму совершенной сферы, насчитывала почти 2000 лет, но тогда Ньютон внимательно изучил процессы, происходящие при вращении такой сферы. Он заметил разницу в скорости вращения поверхности Земли на разных широтах и заключил, что это должно было значить.

Чем больше скорость вращения, тем сильнее центробежный эффект — то есть тенденция отбросить материю дальше от центра вращения. Из этого следовало, что центробежный эффект увеличивается от нуля на неподвижных полюсах до максимального на быстро вращающемся экваториальном поясе. Это значит, что Земля должна представлять собой сплюснутый сфероид с экваториальной выпуклостью и сжатый у полюсов. Ее форма должна напоминать скорее мандарин, чем мяч для гольфа. Ньютон даже смог вычислить, что сплюснутость у полюсов составляет около $\frac{1}{230}$ от общего диаметра Земли, что удивительно близко к действительности.

Земля вращается настолько медленно, что сплюснутость и выпуклость слишком незначительны, чтобы быть обнаруженными. Но как минимум, две астрономические обсерватории поддерживали выводы Ньютона даже в его время.

Во-первых, было ясно видно, что Юпитер и Сатурн значительно сплюснуты на полюсах, что было впервые отмечено французским астрономом итальянского происхождения Джованни Доменико Кассини в 1687 году. Обе планеты значительно крупнее, чем наша Земля, и вращаются гораздо быстрее, например, точка поверхности Юпитера на экваторе вращается со скоростью 27 000 миль в час. Учитывая центробежный эффект, возникающий при таких скоростях, не приходится удивляться тому, что он сплюснут.

Во-вторых, если Земля действительно имеет выпуклость на экваторе, изменяющееся гравитационное напряжение на этой выпуклости, создаваемое Луной, которая большую часть времени находится либо с северной, либо с южной стороны экватора при ее вращении вокруг Земли, должно вызывать картинку, при которой ось вращения Земли рисует двойной конус, и каждый полюс указывает на постоянно изменяющуюся точку в небе. Эти точки отмечают окружность, вокруг которой полюс совершает полный оборот каждые 26 000 лет. На самом деле Гиппарх из Никеи отмечал это смещение около 150 года, когда сравнивал существовавшее положение звезд с их положением за полтора века до этого. Смещение земной оси заставляет Солнце достигать точки равноденствия примерно на 50 секунд по дуге, направленной на восток, каждый год (то есть в направлении наступления утра). Поскольку равноденствие наступает каждый год раньше, Гиппарх назвал это смещение процессией равноденствия, и этот эффект до сих пор известен под этим названием.

Естественно, ученые пытались найти более прямые доказательства искаженности сферической формы Земли. Они прибегли к помощи стандартного средства для решения геометрических задач — тригонометрии. На кривой поверхности углы треугольника в сумме дают больше 180 градусов. Теперь, если Земля является сплюснутым сфероидом, согласно Ньютону, превышение этой суммы должно быть больше на более резко выпуклой экваториальной поверхности, чем на менее искривленной поверхности в направлении полюсов. В 1730 году французские ученые провели первый эксперимент, выполнив некоторые масштабные наблюдения на севере и юге Франции. На основании этих измерений французский астроном Жак Кассини (сын Джованни Доменико, который отметил сплюснутость Сатурна и Юпитера) сделал вывод о том, что Земля имеет выпуклость на полюсах, а не на экваторе! Преувеличенная аналогия в этом случае может быть такая: форма Земли скорее напоминает огурец, нежели мандарин.

Однако различий в кривизне земной поверхности на севере и на юге Франции, очевидно, было недостаточно для того, чтобы сделать окончательные выводы. В 1735-м и 1736 годах две французские экспедиции отправились в более отдаленные районы —

одна в Перу, близко к экватору, а другая — в Лапландию, по направлению к Арктике. К 1744 году их наблюдения дали ясный ответ: поверхность Земли имела явно большую кривизну в Перу, чем в Лапландии.

Сегодня самые точные измерения показывают, что диаметр Земли по экватору на 26,68 мили больше, чем вдоль оси, проходящей через ее полюса (то есть 7926,36 миль против 7899,78).

Возможно, наиболее важным научным результатом интереса к форме Земли, возникшего в XVIII веке, является то, что ученая общественность осталась недовольной состоянием точности измерения. Не существовало никаких стандартов для точных измерений. Это неудовлетворение отчасти повлияло на то, что спустя столетие, во время французской революции, была разработана и принята метрическая система, основанная на метре. Сейчас метрической системой к своему огромному удовольствию пользуются ученые всего мира. Именно эта система широко используется общественностью в каждой цивилизованной стране, за исключением англоговорящих стран, главным образом Великобритании и Соединенных Штатов.

Важность точных стандартов измерений невозможно переоценить. Значительная часть научных попыток посвящена постоянному совершенствованию подобных стандартов. Стандартный (эталонный) метр и эталонный килограмм были сделаны из сплава платины и иридия (устойчивого к любым химическим воздействиям) и помещены в пригороде Парижа с большой осторожностью. В частности, они хранятся при постоянной температуре, чтобы предотвратить их расширение или сжатие.

Сейчас обнаружилось, что такие сплавы, как инвар (сокращение от неизменные), состоящие из никеля и железа в определенных пропорциях, наиболее устойчивы к изменениям температуры. Они могут быть использованы при формировании лучших стандартов длины, и французский ученый швейцарского происхождения Шарль Эдуард Гийом, создавший сплав инвар, был удостоен Нобелевской премии в области физики за это открытие в 1920 году.

Однако в 1960 году научное сообщество отошло от материальных стандартов длины. Генеральная конференция Палаты мер и весов приняла в качестве стандарта длину небольшой волны света, излучаемого газом криптоном. В точности 1650763,73 таких волн (гораздо более неизменных, чем что-либо, сделанное человеком) равны одному метру, и этот эталон в тысячи раз точнее всех когда-либо раньше существовавших.

Закругленная форма поверхности Земли на уровне моря называется *геоид*. Конечно, на поверхности Земли имеются горы, овраги и т. д. Даже до того, как Ньютон поставил вопрос о форме Земли, ученые пытались измерить величину этих незначительных отклонений от совершенной сферы (как им тогда ка-

залось). Они прибегли к помощи колеблющегося маятника. В 1581 году Галилей, будучи 17-летним мальчиком, обнаружил, что маятник данной длины всегда завершал свои колебания приблизительно в одно и то же время, при этом длина его подвеса могла быть большой или маленькой; предполагается, что он совершил открытие, наблюдая за колеблющимися люстрами в соборе Пизы во время службы. В соборе до сих пор существует лампа, называемая лампой Галилея, но ее не вешали до 1584 года. (Гюйгенс подвешивал маятник к шестеренкам часов и использовал постоянство его движения для точности хода часов. В 1656 году он создал первые часы, дедушку современных часов, увеличив точность их хода в 10 раз.)

Период колебаний маятника зависит как от длины его подвеса, так и от силы притяжения. На уровне моря маятник с подвесом длиной в 39,1 дюйма совершает полное колебание всего за одну секунду — факт, обнаруженный в 1644 году учеником Галилея, французским математиком Марином Мерсеном. Исследователи неравномерностей на поверхности Земли извлекли пользу из того факта, что период колебаний маятника зависит от силы притяжения в любой данной точке. Маятник, который колеблется с точным периодом в секунду на уровне моря, например, будет колебаться немногим больше секунды на вершине горы, где гравитация немного слабее, поскольку вершина горы находится дальше от центра Земли.

В 1673 году французская экспедиция к северному побережью Южной Америки (в район экватора) обнаружила, что в этой местности маятник замедлялся даже на уровне моря. Ньютон позже использовал это как доказательство существования выпуклости на экваторе, поскольку она удаляла лагерь экспедиции от центра Земли и ослабляла силу гравитации. После того как экспедиции в Перу и в Лапландию подтвердили эту теорию, член лапландской экспедиции, французский математик Алексис Клод Клеро, разработал методы вычисления сплюснутости Земли из колебаний маятника. Таким образом можно было определить геоид, или форму Земли на уровне моря, и он отклоняется от совершенного сфероида менее чем на 300 футов во всех точках. Сейчас сила притяжения измеряется *гравиметром*, грузом, подвешенным на очень чувствительной пружине, указывает силу, положение груза относительно шкалы, которая действует на него вниз, и, таким образом, это позволяет регистрировать изменения силы притяжения с большой точностью.

Сила притяжения на уровне моря меняется приблизительно в пределах 0,6 процента, естественно, будучи минимальной на экваторе. Эта разница незаметна в повседневной жизни, но она может влиять на спортивные рекорды. Достижения, показываемые на Олимпийских играх, в некоторой степени зависят от высоты (и широты) города, в котором они проводятся.

Знание точной формы геоида существенно для точного составления карт, и только о 7 процентах поверхности Земли можно говорить как о точно отображенных на картах. Например, в конце 50-х годов XX века расстояние между Нью-Йорком и Лондоном было известно с точностью до мили или около того, а расположение некоторых островов в Тихом океане было известно лишь в пределах погрешности в несколько миль. В современном мире воздухоплавания и (увы!) возможного наведения ракет это представляет собой неудобство. Но действительно точное составление карт теперь возможно — оно достаточно сложно и осуществляется не с помощью наблюдений с поверхности Земли, а с помощью астрономических измерений нового вида. Первым инструментом, созданным для проведения этих новых измерений, стал искусственный спутник «Авангард-I», запущенный 17 марта 1958 года в Соединенных Штатах. Спутник совершил виток вокруг Земли за два с половиной часа, и в течение первых нескольких лет своего существования он уже совершил больше оборотов, чем сделала Луна за все века, в течение которых она наблюдалась в телескоп. С помощью наблюдений спутника «Авангард-I» из определенных положений в определенное время, в определенных точках Земли можно было точно вычислить расстояния между этими точками. Таким образом, местоположения и расстояния, неизвестные с точностью до миль, в 1959 году были установлены с точностью до сотни ярдов. (Другой спутник, «Транзит-IV», запущенный Соединенными Штатами 13 апреля 1960 года, был первым из серии специально разработанных для приведения этих знаний в систему точного расположения поверхности Земли, что иногда значительно улучшало и упрощало морскую и воздушную навигацию.)

Как и Луна, спутник «Авангард-I» вращается вокруг Земли по эллипсу, который лежит вне экваториальной плоскости Земли. Как и в случае Луны, перигелий спутника (точка максимального приближения) смещается из-за влияния экваториальной выпуклости. Поскольку спутник располагается гораздо ближе к этой выпуклости и значительно меньше Луны, на него не оказывается такого сильного влияния, и из-за множества оборотов, которые он совершает, влияние этой выпуклости можно хорошо изучить. К 1959 году было очевидно, что смещение перигелия спутника «Авангард-I» было неодинаковым в Северном и Южном полушариях. Это указывало на то, что выпуклость несимметрична относительно экватора. Она имела высоту 25 футов (то есть она на 25 футов дальше отстоит от центра Земли) к югу от экватора, чем к северу. Дальнейшие вычисления показали, что Южный полюс на 50 футов ближе к центру Земли (считая от уровня моря), чем Северный полюс.

Дальнейшая информация, полученная в 1961 году, основанная на данных спутников «Авангард-I» и «Авангард-II» (последний

был запущен 17 февраля 1959 года), указывает на то, что уровень моря на экваторе не является правильной окружностью. Диаметр экватора на 1400 футов (приблизительно на четверть мили) больше в некоторых местах, чем в других.

В газетных статьях форма Земли называлась «грушеподобной», а экватор — «имеющим форму яйца». В действительности эти отклонения от правильной плавной кривой воспринимаются только при самых точных измерениях. Никто, смотря из космоса на Землю, не увидит ничего, напоминающего грушу или яйцо; он увидит только то, что кажется правильной сферой. Кроме того, подробные исследования геоида показали, что, если Землю попытаться описать драматическими средствами, она будет иметь «форму глыбы».

Знание точного размера и формы Земли делает возможным вычисление ее объема, который равен приблизительно 260 миллиардам кубических миль. Однако вычисление массы Земли — задача более сложная, но закон притяжения Ньютона дает нам отправную точку. В соответствии с законом Ньютона сила притяжения (f) между двумя предметами во Вселенной выражается следующей формулой:

$$f = (gm_1m_2) / d^2,$$

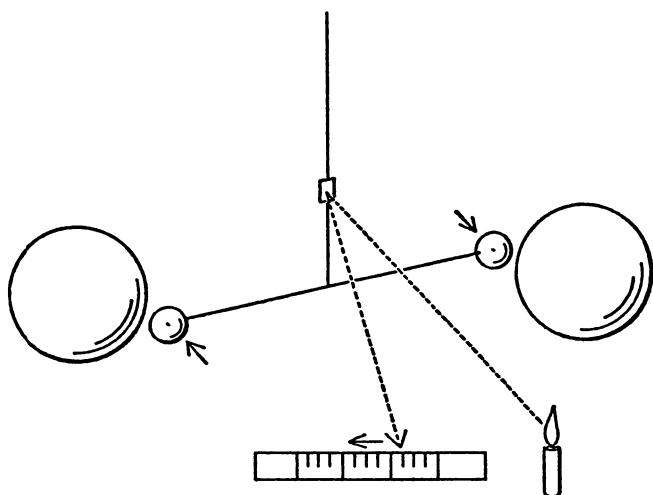
где m_1 и m_2 — массы двух тел, d — расстояние между их центрами; g — гравитационная постоянная.

Каково было значение этой постоянной, Ньютон сказать не мог. Однако если мы сможем получить значения всех других членов этого уравнения, то сможем определить g и при составлении другого отношения находим, что:

$$g = f d^2 / (m_1m_2).$$

Следовательно, чтобы определить значение g , нам необходимо измерить силу притяжения между двумя телами с известными массами, удаленными друг от друга на известное расстояние. Проблема заключается в том, что сила притяжения — это самая слабая из известных сил и силу притяжения между массами тел обычного размера, с которыми мы можем иметь дело, практически невозможно измерить.

Тем не менее в 1798 году английский физик Генри Кавендиш, богатый, невротический гений, который жил и умер почти в полном одиночестве, проведя один из самых хитроумных экспериментов в истории науки, смог выполнить это измерение. Кавендиш прикрепил шары известной массы к двум концам длинного стержня и подвесил эту конструкцию, напоминающую гантель, на тонкую нить. Затем он поместил более крупный шар, также обладающий известной массой, поблизости от каждого шара на стержне — на противоположных сторонах, так что сила притяжения между фиксированными крупными шарами и подвешенными



Схема, иллюстрирующая эксперимент Генри Кавендиша

ми небольшими шарами могла вызвать вращение горизонтально подвешенной конструкции, таким образом закручивая нить. Конструкция и в самом деле медленно вращалась. Тогда Кавендиш измерил, какая сила требовалась для совершения данного количества оборотов нити. Это и дало ему значение постоянной g . Он также знал массы шаров, m_1 и m_2 , и расстояние между притягиваемыми шарами, d . Поэтому он мог вычислить значение g . Как только он это сделал, он смог вычислить массу Земли, поскольку силу притяжения Земли, действующую на любое тело, можно измерить. Таким образом, Кавендиш впервые «взвесил» Землю.

С тех пор вычисления стали значительно более точными. В 1928 году американский физик Пол Р. Гейл из Бюро стандартов Соединенных Штатов определил, что значение g равно 0,00000006673 дины — квадратный сантиметр на грамм в квадрате. Вам нет необходимости беспокоиться об этих единицах, но оцените малое значение этой величины. Это мера слабости силы притяжения. Два груза массой в один фунт каждый, удаленные друг от друга на расстояние фута, притягиваются друг к другу с силой всего в половину одной миллиардной унции.

Тот факт, что сама Земля притягивает подобный груз с силой в один вес даже на расстоянии в 4000 миль от ее центра, подчеркивает, насколько большую массу имеет Земля. На самом деле масса Земли равна $5976 \cdot 10^{21}$ килограммов.

Зная массу и объем Земли, легко вычислить ее среднюю плотность. В метрических единицах результат будет равен 5,522 грамма на кубический сантиметр (в 5,522 раза больше плотности воды). Плотность гор на поверхности Земли в среднем равна

2,8 грамма на кубический сантиметр, таким образом, плотность внутри Земли должна быть значительно выше. Увеличивается ли она плавно на всем протяжении до центра Земли? Первое доказательство того, что это не так — что Земля состоит из ряда различных слоев, — пришло при изучении землетрясений.

Слои планеты

1 ноября 1755 года крупное землетрясение, возможно, самое разрушительное в современном мире, уничтожило Лиссабон, сметая каждый дом на своем пути в нижней части города. Затем из океана пришла приливная волна. Погибло 60 000 человек, и город представлял собой сцену опустошения.

Тряска ощущалась на территории более полутора тысяч квадратных миль, производя значительные разрушения как в Марокко, так и в Португалии. Поскольку это происходило в День всех святых, люди находились в церкви, и говорят, что по всей Южной Европе люди в соборах видели, как раскачивались люстры.

Трагедия в Лиссабоне произвела сильное впечатление на ученых того времени. Это было оптимистичное время, когда многие мыслители чувствовали, что новая наука Галилея и Ньютона даст в руки людям средства, позволяющие превратить Землю в рай для людей. Этот удар показал, что все еще существуют гигантские и, по-видимому, злые силы, которые неподвластны человеку. Землетрясение вдохновило Вольтера, великую литературную фигуру того времени, написать его знаменитую пессимистическую сатиру «Кандид», с ироничным рефреном о том, что все к лучшему в этом лучшем из миров.

Мы привыкли думать о толчках суши при землетрясении, но Земля под дном океана также может подвергаться тряске, и даже с еще более разрушающими последствиями. Вибрации вызывают медленное вздутие океана, которое, при достижении мелких шельфов на соседней Земле, превращается в столбы воды, иногда имеющие высоту от 50 до 100 футов. Если волны ударят без предупреждения, гибнут тысячи людей. Популярное название для таких волн, порождаемых землетрясением, — приливные волны, но это неправильное употребление термина. Они могут напоминать монстроподобный прилив, но имеют совершенно разные причины. В современном мире принято их японское название — цунами. Японское побережье особенно уязвимо для таких волн, поэтому принято подобное название.

После лиссабонской катастрофы, к которой цунами добавило свою разрушительную силу, ученые начали серьезно думать о том, что могло быть причиной таких землетрясений. Лучшим, что могли предложить древние греки, было предположение Аристотеля о том, что они вызывались массами воздуха, находящи-

мися под Землей и пытающимися вырваться на свободу. Однако современные ученые подозревали, что это могло быть результатом внутреннего нагревания Земли или сотрясений внутри самой твердой породы.

Английский геолог Джон Митчелл (который изучал силы, участвующие в «закручивании», позже использованные Кавендишем для измерения массы Земли) предположил в 1760 году, что землетрясения были волнами, вызываемыми смещением масс породы на глубине многих миль под поверхностью Земли. Чтобы тщательно изучить землетрясения, необходимо было разработать инструмент для определения и измерения этих толчков, и это случилось лишь через 100 лет после лиссабонского землетрясения. В 1855 году итальянский физик Луиджи Палмиери разработал первый *сейсмограф* (от греческих слов, обозначающих «записывающий землетрясение»).

В самой простой форме сейсмограф состоит из массивного блока, подвешенного на сравнительно слабой пружине с подставки, надежно зафиксированной на основании скалы. Когда Земля движется, подвешенный блок остается неподвижным вследствие собственной инерции. Однако пружина, связанная с основанием скалы, немного сжимается или растягивается вместе с движением Земли. Движение записывается на медленно вращающийся барабан с помощью пишущей части, прикрепленной к неподвижному блоку, на прокопченную бумагу. В действительности используются два блока, один из них ориентирован на регистрацию волн землетрясения, идущих в направлении на север и на юг, другой — в направлении на восток и на запад. В настоящее время наиболее точные сейсмографы, такие, как в университете Фордхэма, используют луч света вместо пишущей части, чтобы избежать ограничения трения ее о бумагу. Луч просвечивает сквозь чувствительную бумагу, оставляя следы, которые проявляются как фотография.

Английский инженер Джон Милн, используя сейсмографы собственной конструкции, в 1890 году убедительно продемонстрировал, что описание Митчеллом землетрясений как волн, распространяемых сквозь толщу Земли, было верным. Милн обладал приспособлениями для создания станций по изучению землетрясений и аналогичных феноменов в различных частях света, в частности в Японии. К 1900 году существовало 13 сейсмографических станций. Сейчас их более 500, они расположены на каждом континенте, включая и Антарктику.

Земля испытывает до миллиона толчков в год, включая, как минимум, десять разрушительных и сотню серьезных. В результате этих встрясок каждый год гибнет около 15 000 человек. Наиболее убийственное землетрясение, как предполагается, произошло в Северном Китае в 1556 году, и количество его жертв оценивают равным 830 000 людей. А недавнее землетрясение

в Токио 1923 года разрушило город и унесло жизнь 143 000 человек.

По оценкам, при самых крупных землетрясениях высвобождается общая энергия, равная 100 000 обычных атомных бомб, или, что вам больше нравится, сотне водородных бомб. И только потому, что их энергия распределена на значительные территории, они не столь разрушительны, каковы на самом деле. Они могут заставить Землю вибрировать так, как будто это гигантский камертон. Землетрясение в Чили 1960 года заставило планету вибрировать с частотой меньше чем час (на 20 октав ниже среднего и до практически неслышимого).

Интенсивность землетрясений измеряется по шкале со значениями от нуля до девяти, каждое из которых представляет высвобождаемую энергию, в 10 раз большую данного числа. (Не было зарегистрировано ни одного землетрясения мощнее 9 баллов, но сила землетрясения на Аляске 1964 года составляла 8,5 балла.) Эта шкала называется *шкалой Рихтера* по имени изобретшего ее в 1935 году американского сейсмолога Чарльза Фрэнсиса Рихтера.

Около 80 процентов энергии землетрясения высвобождается на территориях, граничащих с огромным Тихим океаном. Другие 15 процентов высвобождаются на восточно-западной полосе, проходящей по Средиземноморью. Эти зоны землетрясений тесно связаны с вулканическими областями, что является одной из причин, по которым влияние внутреннего нагрева связывалось с землетрясениями.

Вулканы — это естественный феномен, и они настолько же устрашающи, как и землетрясения, и, хотя они действуют дольше, в большинстве случаев их влияние ограничивается меньшими территориями. Известно около 500 вулканов, активных еще в древние времена, и две трети из них расположены вдоль побережья Тихого океана.

В редких случаях, когда вулкан захватывает и перегревает значительные массы воды, могут происходить ужасные катастрофы. 26—27 августа 1883 года небольшой индийский вулкан Кракатау, расположенный точно между Суматрой и Явой, начал извержение с таким рокотом, который описывался как самый громкий звук на Земле начиная с незапамятных времен. Этот звук человеческое ухо слышало на расстоянии 3000 миль, и его можно было зафиксировать с помощью приборов по всему земному шару. Звуковые волны несколько раз полностью обошли планету. Пять кубических миль породы было взорвано и брошено в воздух; пепел покрыл территорию в 300 000 квадратных миль. Пепел закрывал небеса на сотни квадратных миль, оставляя в стратосфере пыль, которая сделала закаты ярче на многие следующие годы. Цунами высотой в 100 футов унесло жизнь 36 000 человек на побережье островов Ява и Суматра, и его волны можно было легко обнаружить во всех частях света.

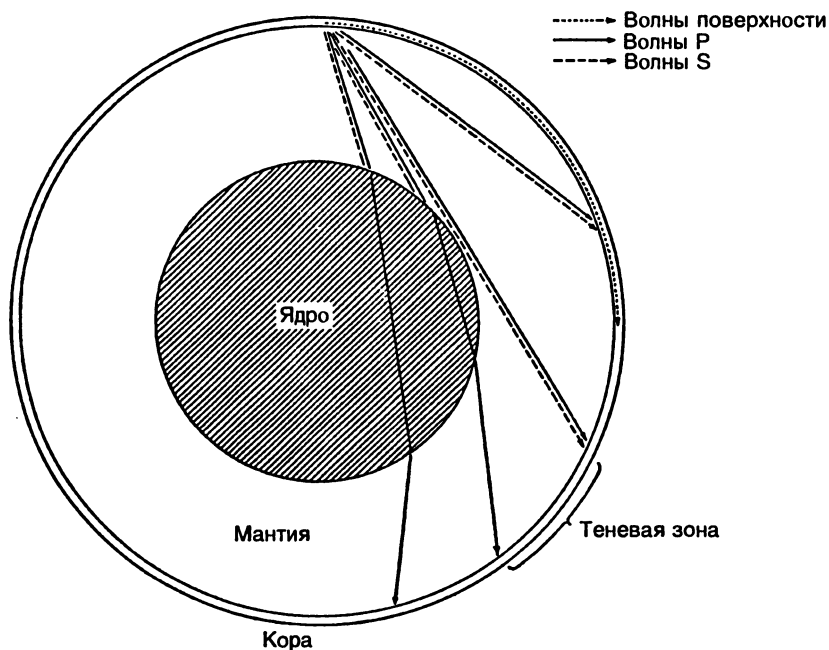
Похожее событие, даже с еще более ужасными последствиями, возможно, произошло примерно три тысячи лет назад в Средиземном море. В 1967 году американские археологи обнаружили покрытые пеплом остатки города на небольшом острове Тера, на расстоянии 80 миль к северу от Крита. Очевидно, около 1400 года до нашей эры вулкан взорвался подобно вулкану Кракатау. Возникшее цунами ударило по острову Крит, тогда являвшемуся центром долгой и почитаемой цивилизации, от разрушающего удара которого эта цивилизация так и не возстала. Контроль критян над морем был утрачен, и в конце концов наступил период смятения и темноты; восстановление заняло многие века. Драматическое исчезновение Теры осталось в памяти выживших, и эта история прошла через поколения, каждый раз приукрашиваясь. Вполне возможно, она дала начало истории Атлантиды, созданной Платоном, которая рассказывалась почти через одиннадцать веков после гибели Теры и критской цивилизации.

И при этом возможно, что наиболее известное одиночное извержение вулкана в истории человечества было незначительным по сравнению с Кракатау или Терой. Это было извержение Везувия в 79 году (к тому времени он считался потухшим вулканом), которое уничтожило римские города Помпеи и Геркуланум. Известный энциклопедист Гай Плиний Старший погиб в этой катастрофе, которая была описана его племянником, Плинием Младшим, который стал ее свидетелем.

Раскопки погибших городов серьезно вошли в моду после 1763 года. Они предлагали необычную возможность изучать относительно целые остатки города, который существовал в период наибольшего расцвета Древнего мира.

Другой необычный феномен — это действительное рождение нового вулкана. Такое страшное событие произошло в Мексике 20 февраля 1943 года, когда в деревне Парикутин, расположенной в 200 милях на запад от Мехико, вулкан начал появляться на месте обычного кукурузного поля. В течение 8 месяцев вулкан вырос до покрытого пеплом конуса высотой в полторы тысячи футов. Конечно, деревню пришлось оставить.

Современные исследования вулканов и их роли в формировании большей части земной коры начал французский геолог Жан Этьен Геттар в середине XVIII века. А к концу XVIII века отдельные попытки немецкого геолога Абрахама Вернера популяризировали неверную идею о том, что большая часть породы имела осадочное происхождение из океана, который когда-то был всемирным (*нептунизм*). Однако убедительность доказательств, в частности представленных Хаттоном, сделала очевидным тот факт, что большая часть породы была сформирована при вулканическом действии (*плутонизм*). И вулканы, и землетрясения, похоже, являются проявлениями внутренней энергии Земли, происходящими большей частью вследствие радиоактивности.



Прохождение волн землетрясений в земле. Волны поверхности перемещаются вдоль земной коры. Жидкое земное ядро преломляет волны тела Р. Волны S не проходят сквозь ядро

Как только сейсмографы дали возможность подробного изучения волн землетрясений, было обнаружено, что эти наиболее просто изучаемые волны имели две разновидности: *волны поверхности* и *волны тела*. Волны поверхности огибают Землю, волны тела проходят сквозь внутреннюю часть Земли, — и под действием этого короткого выброса они обычно в первую очередь регистрируются сейсмографами. Эти волны тела, в свою очередь, бывают двух типов: первичными («волны Р») и вторичными («волны S»). Первичные волны, как и звуковые волны, представляют собой переменное сжатие и расширение среды (чтобы представить их себе, вспомните, как растягиваются и сжимаются меха аккордеона). Подобные волны могут проходить сквозь любую среду — твердую или жидкую. С другой стороны, вторичные волны имеют знакомую форму колец змеи, расположенных под прямым углом к направлению их движения, и они не могут проходить сквозь жидкость или газ.

Первичные волны движутся быстрее, чем вторичные, и, следовательно, раньше регистрируются сейсмографической станцией. Исходя из времени запаздывания вторичных волн, можно оценить расстояние, на котором происходит землетрясение. А

его местоположение, или *эпицентр* (точка на поверхности Земли строго над разрушающейся скалой), можно точно определить, получив данные о расстоянии с трех или больше станций: три радиуса отмечают три окружности, которые пересекутся в одной точке.

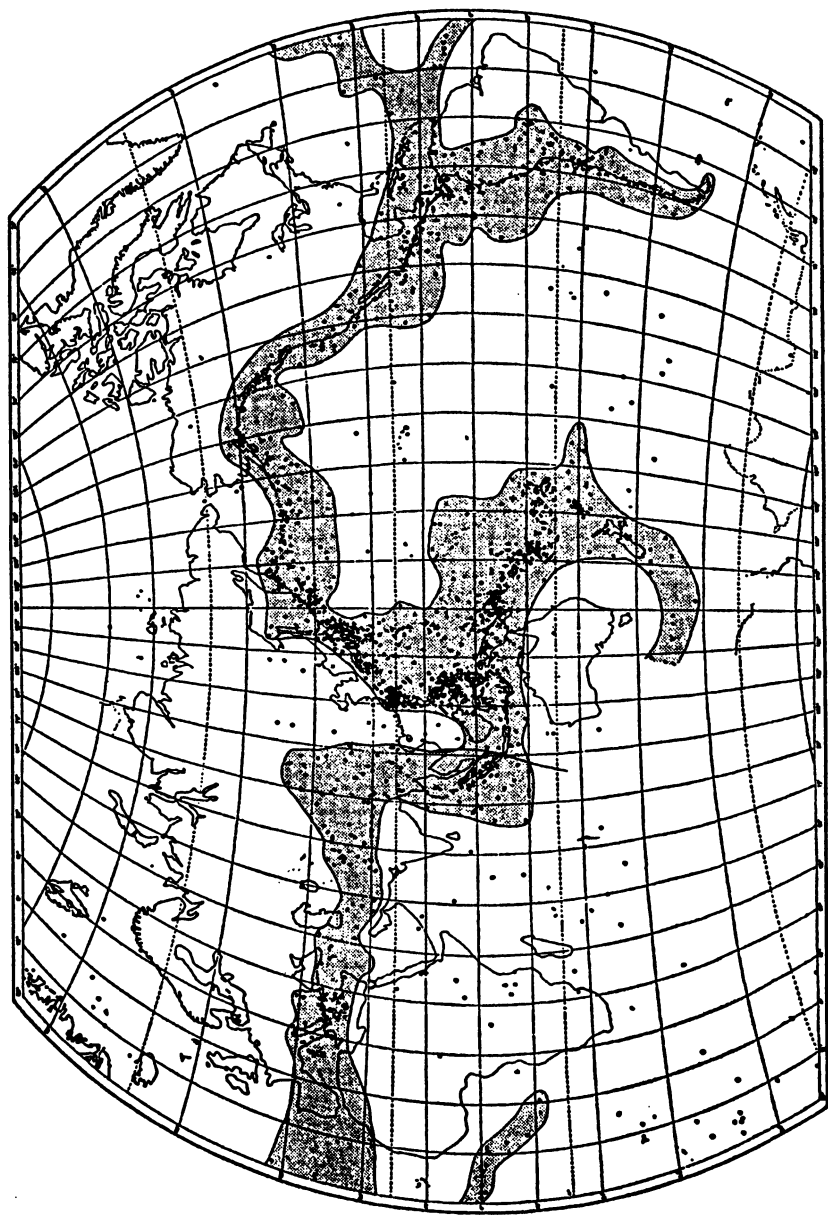
На скорость и волн Р, и волн S оказывают влияние вид породы, температура и давление, как показали лабораторные исследования. Следовательно, волны землетрясений можно использовать в качестве зондов для исследования состояния породы глубоко под земной поверхностью.

Первичная волна рядом с поверхностью распространяется со скоростью 5 миль в секунду; на глубине 1000 миль под поверхностью, судя по скорости ее приближения, ее скорость должна быть около 8 миль в секунду. Аналогично вторичная волна имеет скорость около 3 миль в секунду около поверхности Земли и около 4 миль в секунду под Землей, на глубине 1000 миль. Поскольку увеличение скорости — это мера увеличения плотности, мы можем оценить плотность породы, лежащей под поверхностью. На поверхности Земли, как отмечалось, средняя плотность составляет 2,8 грамма на кубический сантиметр; на глубине 1000 миль она составляет 5 граммов на кубический сантиметр; на глубине 1800 миль — почти 6 граммов на кубический сантиметр.

На глубине 1800 миль происходит резкое изменение. Вторичные волны останавливает холод. Британский геолог Р.Д. Олдхэм утверждал в 1906 году, что это должно означать, что область, лежащая ниже, является жидкой: волны достигают границы земного «жидкого ядра». А первичные волны по достижении этого уровня резко изменяют направление движения; очевидно, они преломляются при входе в жидкое ядро.

Граница жидкого ядра называется *разрывностью Гутенберга* по имени американского геолога Бено Гутенберга, который в 1914 году установил эту границу и продемонстрировал, что ядро простирается на 2160 миль от центра Земли. Плотность различных глубинных слоев Земли была определена в 1936 году при помощи данных о землетрясениях австралийским математиком Кейтом Эдуардом Булленом. Результаты его исследований были подтверждены сильным землетрясением в Чили в 1960 году. Следовательно, мы можем говорить о том, что в разрывности Гутенберга плотность материи резко изменяется с 6 до 9, а дальше плавно увеличивается до 11,5 грамма на кубический сантиметр в центре Земли.

Какова природа жидкого ядра? Оно должно состоять из вещества, имеющего плотность от 9 до 11,5 грамма на кубический сантиметр в условиях температуры и давления в ядре. Согласно оценкам, давление изменяется в пределах от 10 000 тонн на квадратный дюйм наверху жидкого ядра до 25 000 тонн на квад-



Пояса землетрясений. Они соответствуют основным зонам нового горообразования. Сейсмическая карта крупных землетрясений, зарегистрированных сейсмографами в 1899—1923 годах, с указанием эпицентров. Экспонат Американского музея естественных наук

ратный дюйм в центре Земли. Температура менее определенная. На основании скорости, с которой, как известно, растет температура с увеличением глубины и скорости, при которой порода порождает тепло, геологи оценивают (грубо), что температура в жидком ядре должна составлять 5000 °С. (Центр куда более крупной планеты Юпитер может иметь температуру до 500 000 °С.)

Вещество, из которого состоит ядро, должно быть каким-то распространенным элементом — достаточно распространенным, чтобы сформировать сферу диаметром в половину диаметра Земли, и имеющим массу, равную трети массы Земли. Единственный тяжелый элемент, распространенный во Вселенной, — это железо. На поверхности Земли его плотность составляет всего 7,86 грамма на кубический сантиметр, но при значительном давлении в ядре оно будет иметь плотность в пределах от 9 до 12 граммов на кубический сантиметр. Но больше того, при условиях в центре Земли железо будет жидким.

Если нужны дополнительные доказательства, метеориты могут представить их. Они делятся на два обширных класса: *каменные* метеориты, состоящие главным образом из силикатов, и *железные* метеориты, состоящие на 90 процентов из железа, на 9 процентов — из никеля и на 1 процент — из других элементов. Многие ученые убеждены в том, что метеориты — это остатки разбившейся планеты; если это так, железные метеориты могут быть кусками жидкого ядра этой планеты, а каменные метеориты — фрагментами его мантии. (На самом деле в 1886 году, задолго до того, как сейсмологи исследовали земное ядро, состав железных метеоритов предполагал, по мнению французского геолога Габриэля Аугуста Добре, что ядро нашей планеты состоит из железа.)

Сегодня большинство геологов принимают жидкое никелево-железное ядро как один из жизненных актов при рассмотрении структуры Земли. Однако было внесено одно важное уточнение. В 1936 году датский геолог Инге Леманн, пытаясь объяснить загадочный факт, что некоторые первичные волны обнаруживают «теневую зону» на поверхности, из которой большинство таких волн исключается, предположил, что прерывистость внутри ядра на глубине порядка 800 миль от центра вводила другую полосу волн и посылала незначительное кренование в теневую зону. Гутенберг поддержал эту точку зрения, и сейчас многие геологи проводят различия между наружным ядром, которое жидкое и состоит из никеля и железа, и внутренним ядром, определенным образом отличающимся от внешнего ядра — возможно, оно твердое или отличается по составу содержащихся в нем элементов. В результате крупного землетрясения в Чили в 1960 году весь земной шар подвергся вибрациям, которые происходили со скоростями, совпадающими со скоростями, предсказанными с уче-

том существования внутреннего ядра. Это доказательство его существования.

Часть Земли, окружающая никелево-железное ядро, называется мантией. Похоже, она состоит из силикатов, но, судя по скорости прохождения сквозь нее волн землетрясений, эти силикаты отличаются от обычной породы, формирующей поверхность Земли, — это впервые продемонстрировал в 1919 году американский физический химик Лизон Адамс. Судя по свойствам этих силикатов, они представляют собой породу так называемого «оливинового» типа (цвета зеленых оливок), которые сравнительно богаты магнием и железом и бедны алюминием.

Мантия не простирается до поверхности Земли. Хорватский геолог Андрия Мохоровичич при изучении волн, вызванных землетрясением на Балканах в 1909 году, сделал вывод, что произошло резкое увеличение скорости волн на уровне около 20 миль под поверхностью Земли. Эта прерывность Мохоровичича (известная также под сокращенным названием Мохо) теперь принимается как граница земной коры.

Природу коры и верхней мантии лучше всего исследовать с помощью волн поверхности, о которых шла речь выше. Как и волны тела, волны поверхности имеют две разновидности. Один их вид называется *волны Лава* (по имени их первооткрывателя Лава). Волны Лава — это горизонтальные пульсации, по форме напоминающие движение змеи, ползущей по земле. Другая разновидность называется *волны Рейли* (по имени английского физика Джона Уильяма Стратта, лорда Рейли); эти пульсации вертикальные, как след морской змеи, движущейся в воде.

Анализ этих волн поверхности (в особенности выполненный Морисом Эвингом из университета Колумбии) показывает, что кора имеет изменяющуюся толщину. Она имеет наименьшую толщину под дном океанов, где разрывность Мохо в некоторых местах составляет всего 8—10 миль ниже уровня моря. Поскольку океаны сами имеют глубину во впадинах до 5—7 миль, твердая кора может иметь толщину всего 3 мили под дном океанских впадин. С другой стороны, под континентами разрывность Мохо лежит на средней глубине около 20 миль ниже уровня моря (это, например, на 22 мили ниже уровня Нью-Йорка) и доходит до глубины в 40 миль под горными хребтами. Этот факт, вместе с доказательствами измерений гравитации, показывает, что порода горных хребтов имеет плотность меньше средней.

Кора состоит из двух типов породы — базальтовой и гранитной — с менее плотным гранитом, скользящим по поверхности базальта, формирующих континенты, и местами, где слой гранита особенно толст, формирующих горы (так же крупный айсберг вырастает над водой выше, чем небольшой). Молодые горы сдвигают свои гранитные корни глубоко в базальт, но по мере выкашивания гор от эрозии они «подстраиваются», медленно дви-

гаясь вверх (поддержание равновесия называется *изостазия*, название, придуманное в 1889 году американским геологом Кларенсом Эдвардом Даттоном). В Аппалачах, очень древней цепи гор, корни почти исчезли.

Базальт, лежащий под океанами, покрыт осадочной породой, и высота этого слоя составляет от четверти мили до полумили, но еще меньше присутствует гранит, или он отсутствует вообще — бассейн Тихого океана полностью лишен гранита. Такая небольшая толщина коры под океанами предполагает драматическое решение: почему бы не пробурить скважину в коре до прерывности Мохо и не простучать мантию, чтобы понять, из чего она состоит? Это будет непростая задача, поскольку это будет означать стоянку судна выше глубоководной части океана, спуск оборудования на глубину нескольких миль воды, и затем бурение такого слоя породы, который еще никто и никогда не бурил. Однако ранний энтузиазм по поводу подобного проекта испарился, и теперь вопрос находится в открытом состоянии.

Способность гранита «плавать» на базальте означает возможность «дрейфа материков». В 1912 году немецкий геолог Альфред Лотар Вегенер высказал гипотезу, что поначалу континенты представляли собой единый пласт гранита, который он назвал Пангея («вся Земля»). На ранней стадии истории Земли этот пласт разделился и континенты стали расходиться в разные стороны. В пользу своей гипотезы Вегенер приводил тот факт, что материки продолжают перемещаться: Гренландия, к примеру, удаляется от Европы со скоростью один ярд в год. Саму идею ему подсказал тот факт, что очертания восточной береговой линии Южной Америки очень похожи на очертания береговой линии западного берега Африки подобно двум кускам разбитого горшка (этот факт уже побуждал многих выдвигать подобные гипотезы, в частности, это сделал Фрэнсис Бэкон, примерно в 1620 году).

На протяжении полувека к теории Вегенера относились весьма недоверчиво. Еще в 1960 году, когда вышло первое издание этой книги, я считал нужным, полагаясь на господствующие в то время взгляды геофизиков, категорически с ней не согласиться. Основным аргументом против этой теории было то, что базальт под океанами и материками слишком тверд для того, чтобы континенты разъезжались.

Однако свидетельства в пользу того, что Атлантического океана когда-то не существовало и что отдельные континенты когда-то составляли единый земляной массив, становятся все убедительнее. Если совместить континенты, но не по их береговой линии (которая определяется существующим в настоящее время

уровнем океана), а по линии у основания материков (эта линия была береговой в те времена, когда уровень Мирового океана был низким), то наблюдается удивительное совпадение вдоль всей Атлантики, как на севере, так и на юге. И горные формации в Западной Африке в мельчайших деталях совпадают с формациями на востоке Южной Америки. Факт перемещения магнитных полюсов кажется менее удивительным, чем то, что движутся целые материки.

Возможно, самым ярким свидетельством в пользу новой гипотезы явилась найденная в Антарктиде окаменелая кость вымершей амфибии длиной 2,5 дюйма. Подобное существо не смогло бы выжить столь близко к Южному полюсу, а это значит, что Антарктида когда-то находилась дальше от полюса или, по крайней мере, имела большую температуру воздуха. Амфибии не способны пересечь даже небольшие протоки с соленой водой, так что Арктика была частью материка, имевшего теплые районы.

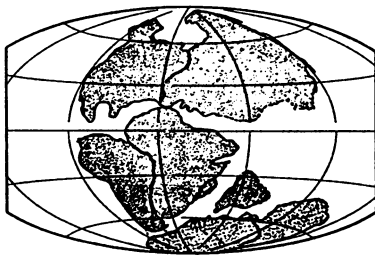
Но гипотеза дрейфа материков требует объяснения причины, по которой материки начали расходиться. Примерно в 1960 году американский геолог Гэрри Хэммонд Хэсс высказал предположение, что распавшиеся породы мантии поднимались из некоторых трещин, в частности проходящих вдоль середины Атлантического океана. Около вершины эти породы растекались в стороны, затем охлаждались и затвердевали. Дно океана, таким образом, расширялось и растягивалось. По этой теории материки не дрейфуют, а их просто смещают породы расширяющихся океанов.

В наши дни считается, что Пангея действительно существовала и была единым материком 225 миллионов лет назад, когда на Земле господствовали динозавры. Судя по эволюции животных видов и по расселению растений и животных, разделение материков произошло примерно 200 миллионов лет назад. Пангея раскололась на три части. Северная часть (Северная Америка, Европа и Азия) сейчас называется Лавразия, южная часть (Южная Америка, Африка и Индия) именуется Гондвана, от названия одной индийской провинции. Антарктида и Австралия составили третью часть.

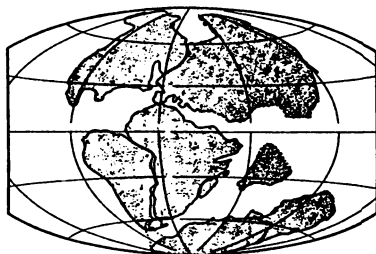
Примерно 65 миллионов лет назад, когда динозавры уже вымерли и на Земле господствовали млекопитающие, Южная Америка на западе отделилась от Африки; на востоке Индия отделилась, чтобы двинуться к Южной Азии. В конце концов Северная Америка отделилась от Европы, а Индия соединилась с Азией (в месте соединения возникли складки Гималаев), Австралия отошла от Антарктиды, и континенты приобрели вид, который мы наблюдаем в настоящее время.



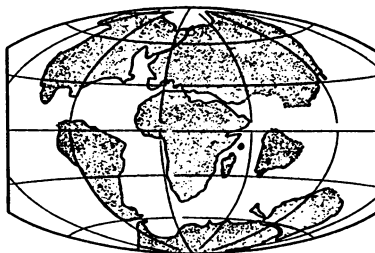
ПЕРМСКИЙ — 225 миллионов лет назад



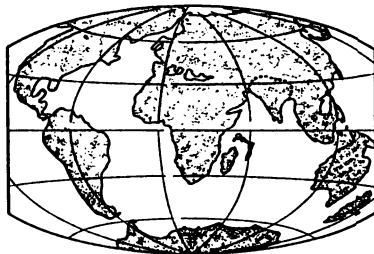
ТРИАСОВЫЙ — 200 миллионов лет назад



ЮРСКИЙ — 135 миллионов лет назад



МЕЛОВЫЙ — 65 миллионов лет назад



КАЙНОЗОЙСКИЙ — настоящее время

Есть более явные свидетельства изменений на Земле на протяжении различных геологических периодов. История изучения этих свидетельств начинается в 1879 году, когда английский астроном Джордж Говард Дарвин (сын Чарлза Дарвина) высказал предположение, что Луна является частью Земли, оторвавшейся от нее в ранний период истории, причем Тихий океан возник именно в результате произошедшего разделения.

Это интересная гипотеза, поскольку Луна составляет всего 1 процент от суммарной массы системы Земля—Луна, и эта масса достаточно мала, чтобы уместиться в Тихом океане. Если состав Луны и в самом деле аналогичен породам верхних слоев Земли, это объясняет отсутствие у Луны железного ядра и намного меньшую, чем на Земле, плотность, а также отсутствие на дне Тихого океана континентального гранита.

Однако возможность появления Луны из Земли в наши дни по разным причинам отвергается, и сейчас ни один астроном или геолог не считает, что такое могло произойти (однако стоит помнить о судьбе теории дрейфа континентов). Тем не менее наверняка Луна в прошлом была ближе к Земле, чем в наши дни.

Притяжение Луны вызывает приливные процессы не только в океане, но и в твердой коре Земли. По мере того как Земля вращается, по океанам пробегает приливная волна; вместе с ней различные слои скальной породы чуть поднимаются или опускаются, что вынуждает их тереться друг о друга. Из-за этого трения происходит медленный переход энергии Земли в тепло, так что период вращения понемногу увеличивается. Этот эффект незаметен с точки зрения человеческой жизни, но все же примерно за 100 000 лет день увеличивается на секунду. Земля теряет энергию вращения, но момент импульса должен сохраняться постоянным. То, что теряет Земля, получает Луна. Ее скорость вращения вокруг Земли увеличивается, что означает ее очень медленное удаление от земной поверхности.

Если обратиться к ранним геологическим эпохам, то несомненно, что Земля в то время вращалась быстрее, а Луна находилась значительно ближе. Дарвин произвел расчеты в глубь веков и нашел время, в которое Земля и Луна представляли собой единое тело; но даже если мы обратимся и не к столь отдаленному времени, то легко найдем свидетельства того, что в прошлом день был короче. К примеру, примерно 570 миллионов лет назад — во времена, к которым относятся самые старые из известных нам окаменелостей, — день, по всей видимости, продолжался всего 20 часов и дней было 428 в году.

Но в наши дни это не единственная теория. Некоторые кораллы откладывают слои из карбоната кальция более активно в определенные сезоны, так что на стволах кораллов можно изучить ежегодные отложения. Было высказано предположение, что днем отложения более интенсивные, чем ночью, так что можно различить очень тонкие суточные кольца. В 1963 году американский палеонтолог Джон Уэст Уэллс сосчитал тончайшие слои на окаменелых кораллах и сообщил, что в среднем годовичные отложения имеют 400 слоев, удаленных от нас на 400 миллионов лет, и 380 слоев полос для 320 миллионов лет.

Возникает вопрос: если раньше Луна была много ближе к Земле и Земля вращалась быстрее, то что происходило в более ран-

ние периоды? Если теория Дарвина разделения Земли и Луны не верна, то что же верно?

Одна из гипотез гласила, что Луна была захвачена в какое-то время в прошлом. Если она была захвачена 600 миллионов лет тому назад, к примеру, это может объяснить факт наличия большого числа окаменелостей этого периода, в то время как от предшествующей эпохи не осталось никаких следов жизни, кроме слабых следов углерода. Возможно, окаменелости более раннего периода были начисто сметены огромными приливами, сопровождавшими захват Луны (в то время наземной жизни не было; если бы она существовала, она бы исчезла). Если бы Луна была захвачена, она была бы ближе тогда, чем в наши дни, происходило бы удлинение продолжительности суток и удаление Луны.

Другая гипотеза предполагала, что Луна возникла где-то в окрестностях Земли, из того же самого пылевого облака, что и Земля, но что частью Земли Луна никогда не была. Истину астрономы не знают до сих пор, но они надеются ее отыскать благодаря продолжающимся исследованиям лунной поверхности — как при помощи пилотируемых человеком лунных экспедиций, так и при помощи автоматических станций.

Тот факт, что Земля состоит из двух главных частей — силикатной мантии и никелево-железного ядра (примерно в той же пропорции, как белок и желток в яйце), — убедил большинство геологов, что когда-то в своей истории Земля была жидкой. По всей видимости, тогда она состояла из двух не растворяющихся друг в друге расплавов. Поскольку силикатный расплав был легче, он собирался дальше от центра и, излучая тепло в окружающее пространство, охлаждался. Находившийся глубже металлический расплав был изолирован от открытого пространства и потому отдавал свое тепло медленнее, из-за чего остался в жидком виде по сей день.

Возможны три причины, по которым Земля могла стать достаточно горячей для того, чтобы началось плавление, даже в случае, если поначалу она представляла собой набор холодных кусков межпланетного вещества. Сталкиваясь и соединяясь, эти куски теряли энергию своего движения (кинетическую энергию), которая превращалась в тепло. Затем, по мере того как растущая планета сжималась силой тяготения, в тепло преобразовывалось еще больше энергии. Кроме того, радиоактивные вещества Земли — уран, торий и калий — выделяют огромное количество тепла во время своего распада; на ранних стадиях жизни Земли в ней было намного больше радиоактивного материала. Радиоактивность сама по себе может выделить достаточно тепла, чтобы перевести материю Земли в жидкое состояние.

Не все ученые считают, что раньше Земля была жидкой. Американский химик Гарольд Клейтон Ури, в частности, полагает, что большая часть Земли всегда была твердой. Он считает, что в твердой Земле железное ядро могло бы образоваться за счет медленного отделения железа. Он считает, что даже сейчас железо поступает из мантии в ядро со скоростью 50 000 тонн в секунду.

Охлаждение Земли из ее первоначального расплавленного или полурасплавленного состояния помогает объяснить неровный вид ее поверхности. По мере того как охлаждающаяся Земля сжималась, ее кора местами вспучивалась. Небольшие поднятия приводили к землетрясениям, большие же — или накопления маленьких — в конечном счете приводили к возникновению горных хребтов. Однако вспучивание земной поверхности было сравнительно недолгим по времени. После возникновения гор эрозия достаточно быстро (с точки зрения принятого в геологии времени) разрушала горные образования, после чего следовали довольно продолжительные периоды стабильности — до того, как в коре накапливались силы сжатия, достаточно большие, чтобы началось новое поднятие гор. По этой причине большую часть своего времени поверхность Земли представляла собой довольно унылую и неживописную картину, с невысокими континентами и неглубокими морями.

Эта гипотеза могла быть верной, если бы Земля действительно остывала. Любое горячее тело *должно* остывать, если нет источника, который бы поддерживал тепло. Это так. Но в случае с Землей *существует* источник постоянного тепла — источник, происхождение которого не могли понять вплоть до XX века. Этот источник стал понятен с открытием в 1896 году радиоактивности, когда обнаружилась до того неведомая форма энергии, которая таилась в недрах атома.

Оказалось, что на протяжении последних нескольких сотен миллионов лет радиоактивность давала достаточно тепла в земную кору и мантию, чтобы они, по крайней мере, не остыли. Тем не менее, несмотря на это, мы живем сейчас в самом конце эры горообразования (к счастью для тех, кто любит равнины). Если бы Земля не остывала и не сжималась, то как бы еще могли возникнуть горы?

Пару десятилетий назад израильский физик Хаим Л. Перкерис выдвинул теорию, которую потом тщательно разработал американский геолог Д.Т. Бриггз. По этой теории, весьма напоминающей вышеприведенную теорию о расширении океанского дна, идущее от ядра Земли тепло время от времени приводит к появлению серии своего рода вертикальных вихрей в мантии. Вихри нагретого материала поднимаются к коре, а после остывания снова опускаются вниз. Поскольку мантия является не расплавом, а скорее пластическим материалом, это движение очень медленно — возможно, не быстрее двух дюймов в год.

Когда два соседних вихря двигаются вниз, часть коры опускается с ними, создавая слой легкого кристаллического материала в более тяжелой мантии. Этот слой при воздействии тепла мантии превращается в гранит. В силу изостазии этот слой и покрывающий его легкий материал поднимаются, формируя горные хребты. Периоды возникновения гор, продолжаясь, возможно, в течение 60 миллионов лет, сменяются периодами относительной стабильности продолжительностью в 500 миллионов лет, на протяжении которых в мантии накапливается тепло, чтобы начать новый цикл. Из этой теории следует, что возникновение гор и дрейф континентов взаимосвязаны.

Океан

Среди всех планет Солнечной системы Земля отличается тем, что на ней вода может находиться во всех трех состояниях: жидком, твердом и газообразном. Насколько мы знаем, Земля также является единственным телом в Солнечной системе, у которого есть океаны. Я думаю, мне даже следует сказать «океан», поскольку Тихий, Атлантический, Индийский и Северный Ледовитый океаны представляют собой единый массив соленой воды, в котором плавают Евразия, Африка, обе Америки и меньшие по размеру Антарктида и Австралия, которые могут считаться островами в этом едином океане.

Статистические данные этого океана удивительны. Он имеет общую поверхность в 140 миллионов квадратных миль и покрывает 71 процент земной поверхности. Если принять среднюю глубину океана за две с третьей мили, объем равняется примерно 326 миллионам кубических миль воды — это 0,15 процента общего объема всей нашей планеты. Океан содержит 97,2 процента всей H_2O на Земле и является источником пресной воды на Земле, поскольку каждый год с его поверхности испаряется 80 000 кубических миль влаги, чтобы выпасть на Землю в виде дождя или снега. Благодаря этим осадкам под поверхностью континентов хранится примерно 200 000 кубических миль пресной воды и примерно 30 000 кубических миль пресной воды собраны в таких открытых водоемах, как озера и реки.

Океан особенно важен для жизни. Можно уверенно сказать, что жизнь возникла именно здесь, и с чисто количественной точки зрения именно в океанах содержится большая часть живых существ планеты. На твердой Земле жизнь занимает всего несколько футов над поверхностью (хотя птицы и самолеты иногда поднимаются и выше), в океанах же жизнь присутствует во всем объеме, до глубины 7 миль, а в некоторых местах даже глубже.

Несмотря на это, буквально до последнего времени человечество очень мало знало о жизни в океанах, и особенно на дне,

словно океан принадлежал другой планете. Даже в наши дни астрономы знают больше о поверхности Луны, чем геологи о поверхности Земли под океанами.

Основателем современной океанографии является американский офицер военно-морского флота по имени Мэттью Фонтэйн Мори. Когда ему было за тридцать, он попал в аварию, которая принесла ему несчастья, но для человечества оказалась удачей. Когда на морской станции ему поручили карты и приборы (несомненно, считая это легкой работой), он решил приняться за составление карт морских течений. В частности, он изучил движение Гольфстрима, который впервые был исследован еще в 1769 году американским ученым Бенджаминем Франклином. Мори дал Гольфстриму определение, которое стало в океанографии классическим: «Это река в океане». Гольфстрим — определенно самая большая река на Земле. Он переносит за секунду в тысячи раз больше воды, чем Миссисипи. Он имеет 50 миль ширины, примерно 0,5 мили глубины, а скорость его течения составляет 4 мили в час. Согревающий эффект этого теплого течения можно ощущать даже на северных островах Шпицбергена.

Мори также принадлежит заслуга в организации международного сотрудничества в изучении океана; именно его усилия привели к исторической международной конференции, которая прошла в Брюсселе в 1853 году. В 1855 году он опубликовал первый учебник по океанографии, озаглавленный «Физическая география моря».

Со времен Мори течения были тщательно изучены и нанесены на карту. В Северном полушарии они движутся в океане по часовой стрелке, из-за эффекта Кориолиса. Течения, которые находятся в районе экватора, не подвергаются воздействию эффекта Кориолиса. Такое тонкое, прямое течение есть в Тихом океане; оно перемещается строго на восток на протяжении нескольких тысяч миль вдоль экватора. Его называют *течение Кромвелла* в честь его первооткрывателя, американского океанографа Таунсенда Кромвелла. Аналогичное течение, только несколько более медленное, было открыто в Атлантике в 1961 году американским океанографом Артуром Д. Вурхисом.

Затем океанографы начали исследовать более медленные циркуляционные течения в океанских глубинах. То, что под океанской поверхностью вода движется, можно понять по некоторым признакам. Один из них — минералы у поверхности воды. Жизнь в верхних слоях океана постоянно потребляет минеральные питательные вещества — фосфаты и нитраты — и после смерти переносит эти материалы вниз в глубины; если бы циркуляции не было, на поверхности не было бы этих минералов. Есть и другое свидетельство: если бы циркуляции не было, то кислород, попадающий в воду из воздуха, не смог бы достичь больших глубин и там бы жизнь была невозможна. Эксперименты же показали, что

кислород присутствует на самом дне океана в достаточных количествах. Это можно объяснить, предположив, что только в океане есть насыщенные кислородом районы, в которых вода идет вниз.

Причина, которая приводит к вертикальной циркуляции, — разница в температурах. Вода, находящаяся на поверхности океана, охлаждается в арктических районах и погружается. Этот постоянный поток опустившейся воды идет по дну океана, так что даже в тропических районах глубинные воды имеют температуру, близкую к точке замерзания. Позднее холодные воды начинают подниматься к поверхности, поскольку больше им некуда двигаться. Поднявшись, вода нагревается и идет обратно к Арктике или Антарктике, где погружается снова. В результате всего этого примерно за 1000 лет происходит полное перемешивание вод Атлантического океана. Большой по объему Тихий океан, как считается, перемешивается примерно за 2000 лет.

Барьеры в виде континентов усложняют движение. Чтобы изучить циркуляцию, океанографы использовали кислород в качестве своего рода метки. Холодная вода содержит больше кислорода, чем легкая. Таким образом, арктические воды содержат наибольшее число кислорода. Когда арктические воды погружаются в глубины, они понемногу теряют кислород, поглощаемый живыми организмами. Определяя по пробам содержание кислорода в глубине моря в различных местах, можно определить направления движения подводных течений.

Подобные исследования выявили одно крупное течение, которое движется из Северного Ледовитого океана по дну Атлантики под Гольфстримом в противоположном ему направлении. Еще одно течение движется из Антарктики к Южной Атлантике. У Тихого океана нет такого течения в Северный Ледовитый, поскольку единственным, что соединяет их, является узкий и мелководный Берингов пролив. Протока для глубоководного течения здесь нет. Это превращает северную часть Тихого океана в тупик, и потому глубинные воды в этом месте бедны кислородом. Большая часть этой части океана довольно бедна формами жизни; это делает северный Тихий океан похожим на пустыню на суше. То же самое можно сказать об окруженных сушей морях, таких, как Средиземное, где циркуляция кислорода и питательных веществ ограничена.

Более четкое подтверждение такой картины подводных течений удалось получить в 1957 году во время объединенной англо-американской океанографической экспедиции. Исследователи использовали специальное подводное устройство, изобретенное английским океанографом Джоном С. Своллоу, которое могло автоматически держаться на глубине одной мили и посылать коротковолновые звуковые волны. Это позволяло экспедиции проследить подводные течения в Атлантике вдоль ее западного края.

Вся эта информация приобрела практическое значение, когда растущее народонаселение стало нуждаться в новых источниках пищи. Научные исследования возможности «сельского хозяйства в океане» потребовали знаний о переносящих питательные вещества течениях, точно так же, как сельское хозяйство на Земле требует знания расположения рек, грунтовых вод и дождей. По оценкам существующая в настоящее время добыча морской продукции — примерно 55 миллионов тонн в год — при эффективном и умелом руководстве может быть увеличена до примерно более 200 миллионов тонн в год, не нанося при этом урона морской жизни. (Это, конечно, предполагает, что мы прекратим теперешний курс на загрязнение Мирового океана и нещадную его эксплуатацию, особенно в тех его частях — около берегов континентов, — которые содержат и могут предложить человеку большую часть морских организмов. До сих пор мы не только не смогли рационально организовать использование даров моря для питания, но еще и уменьшали свою возможную добычу.)

Пища является не единственным важным ресурсом океана. Морская вода содержит огромное количество почти всех элементов в растворенном виде. В ней содержится 4 миллиарда тонн урана, 300 миллионов тонн серебра и 4 миллиона тонн золота — но их процентное содержание столь мало, что их практически нецелесообразно оттуда добывать. Тем не менее в наше время экономически выгодно получать из океана магний и бром. К концу 1960-х годов объем получаемого из океана магния будет стоить 70 миллионов долларов в год, в то время как 75 процентов всего добываемого брома было извлечено из океана. Кроме того, сушеные морские водоросли — важный источник йода; живые растения извлекают йод из океана и накапливают в количествах, которые иначе человек не может получить никаким образом.

Океан предоставляет и более прозаические возможности. Из относительно мелководных территорий, окружающих Соединенные Штаты, каждый год добывается 20 миллионов тонн устричных раковин, которые служат источником известняка. Помимо этого добывается 50 миллионов кубических ярдов песка и гравия.

В более глубоких районах океана на дне лежат металлические конкреции, нарастающие на каком-либо ядре, которое может являться зубом акулы или галькой (примерно так же вокруг песчинки в устричной раковине вырастает жемчужина). Конкреции марганца очень богаты этим металлом. Считается, что на дне Тихого океана находится 31 000 тонн этих конкреций на квадратную милю. Массовую добычу этих конкреций из-за одного магния разворачивать в настоящих условиях экономически нецелесообразно, однако эти конкреции содержат 1 процент никеля, 0,5 процента меди и 0,5 процента кобальта. Эти небольшие добавки делают добычу много привлекательней.

Даже те 97 процентов вещества океана, что представляют собой воду в чистом виде, очень важны. Проблема пресной воды становится все острее, на повестку дня встает вопрос об использовании обессоленной океанской воды. В наши дни создано уже 700 предприятий по обессоливанию, производящих до 30 000 галлонов свежей воды ежедневно. В целом сейчас такая обессоленная вода океана не может заменить пресную воду от дождей, но технология обессоливания делает только первые шаги.

Только в последнем столетии человечество заинтересовалось океанскими глубинами. Морское дно стало предметом особого интереса многих людей (а не нескольких ученых, как раньше), когда было решено проложить телеграфный кабель по дну Атлантического океана. В 1850 году, чтобы проложить кабель, Мори составил карту дна Атлантического океана. Прокладка кабеля заняла 15 лет и сопровождалась множеством обрывов и неудач — при неизменной финансовой поддержке американского финансиста Сайруса Уэста Филда, который потерял в ходе этого процесса целое состояние (в наши дни Атлантику пересекает более 20 кабелей).

Систематическое исследование морского дна началось со знаменитой кругосветной экспедиции английского «Челленджера» в 1870-х годах. Для измерения глубины океанов на «Челленджере» не было лучшего устройства, чем освященный веками метод опускания каната с грузом на конце до тех пор, пока не будет достигнуто морское дно. Таким образом было произведено 360 замеров. Данная процедура не только фантастически трудоемка (из-за большой глубины), но также дает малую точность измерения. Исследования океанского дна коренным образом изменились, когда в 1922 году появились эхолоты, измерявшие глубину дна при помощи звуковых волн. Для того чтобы объяснить, как они работают, требуется некоторое отступление.

Механические вибрации посылают продольные волны в некоторую среду (к примеру, в воздух), и мы можем различить их, слыша звуки. Мы воспринимаем волны различной длины как звуки различной высоты. Самая длинная волна, которую мы способны уловить, составляет 22 метра (это соответствует 15 колебаниям в секунду), а самая короткая, которую может слышать взрослый человек, — это 2,2 сантиметра (15 000 колебаний в секунду). Дети могут различить несколько более высокие звуки.

Поглощение звука в атмосфере зависит от длины волны. Чем больше длина волны, тем меньше звук поглощается данной толщиной воздуха. По этой причине сирена, используемая для предупреждения во время тумана, выбирается из такого расчета, чтобы давать больше басовых нот для распространения звука на большую дальность. Туманная сирена корабля «Куин Мэри» вы-

дает 27 колебаний в секунду, что примерно соответствует самой низкой ноте пианино. Этот звук можно слышать на расстоянии в 10 миль, а при помощи приборов звук можно уловить за 100—150 миль.

Существуют и более глубокие по тону звуки, чем те, которые мы слышим. Некоторые звуки вызываются землетрясениями и вулканами в «инфразвуковом» диапазоне. Такие колебания могут обогнуть Землю, иногда несколько раз, до того, как окончательно поглотятся.

Способность звука отражаться зависит от длины волны. Чем короче длина волны, тем эффективнее отражение. Звуковые волны с частотой выше слышимого диапазона отражаются лучше всего. Некоторые животные их слышат, и это дает им преимущество. Летучие мыши излучают звук с частотой 130 000 колебаний в секунду в ультразвуковом диапазоне и прислушиваются к эху. Судя по тому, в каком направлении отражение является самым громким и сколько времени занял промежуток времени между звуком и его отражением, летучие мыши делают вывод о возможных препятствиях и о расположении насекомых. По этой причине летучие мыши могут прекрасно летать, даже если они ослепли — но не оглохли. (Итальянский биолог Лаззаро Спаланзани, который первым заметил эту особенность летучих мышей в 1793 году, задался вопросом — могут ли они видеть ушами; в определенном смысле это так и есть.)

Бурые дельфины, так же как гуахаро (обитающие в пещерах Венесуэлы птицы) используют звуки для эхолокации. Поскольку им необходимо определять большие объекты, они могут использовать менее эффективно отражающиеся волны звукового диапазона. (Сложные звуки, испускаемые дельфинами, могут даже, как полагают, использоваться в целях общей коммуникации — разговора, проще говоря. Американский биолог Джон С. Лилли очень интенсивно работает над этой темой.)

Для того чтобы использовать ультразвук, человек должен найти способ его производить. Небольшое производство таких источников звука началось с созданного в 1883 году собачьего свистка. Он производит звуки в ультразвуковом диапазоне, который слышат собаки, но не человек.

Более сложные устройства стали возможны после открытия французским химиком Пьером Кюри и его братом Жаком в 1880 году эффекта появления электрических потенциалов на некоторых кристаллах при механическом давлении на них (так называемое «пьезоэлектричество»). Наблюдался и противоположный эффект — при приложении к кристаллу электрических потенциалов кристалл несколько сжимался (*электрострикция*). Когда была разработана техника получения быстро меняющихся потенциалов, был изготовлен кристалл, который был способен достаточно быстро колебаться, чтобы излучать ультразвуковые вол-

ны. Впервые подобное устройство было изготовлено в 1917 году французским физиком Полем Ланжевенем, который немедленно предложил использовать великолепные возможности легко отражающихся волн для обнаружения подводных лодок. Во время Второй мировой войны этот метод был усовершенствован, благодаря чему возник сонар (sound navigation and ranging — навигация по звуку и определение дальности).

Теперь промер глубины при помощи каната уступил место методу улавливания отраженных волн ультразвукового диапазона. Временной интервал между посылкой сигнала (короткий импульс) и возвращением эха позволяет определить расстояние до дна. Единственное, о чем должен беспокоиться оператор, это точно определить — является ли отраженный сигнал сигналом от дна или же он исходит от стаи рыб или какого-либо другого препятствия (конечно, такой инструмент очень полезен при ловле рыбы).

Метод использования эха не только быстр и удобен, он также позволяет проследить изменяющийся рельеф морского дна во всех деталях, так что океанографы могут составить полную карту морского дна. Выяснилось, что морское дно более изрезано, чем земная поверхность, и что объекты морского дна имеют больший масштаб. Под водой есть равнины, равные по размерам целым континентам, и горы, более высокие и протяженные, чем на суше. Остров Гавайи представляет собой вершину подводной горы высотой в 33 000 футов — более высокую, чем любая из вершин Гималаев, так что Гавайи могут быть названы самыми высокими горами на Земле. На дне есть также множество конусообразных гор, называемых морские горы, или гайоты. Последнее название обязано своим появлением американскому географу швейцарского происхождения Арнольду Генри Гайоту, который, эмигрировав в США в 1848 году, стал основателем в этой стране научной географии. Морские горы были впервые открыты во время Второй мировой войны американским геологом Гапрри Хаммондом Хэссом, который за короткое время обнаружил 19 таких гор. Всего в Мировом океане насчитывается по крайней мере 10 000 гор, по большей части — в Тихом океане. Одна из них, открытая в 1964 году строго южнее острова Уэйк, имеет высоту более 14 000 футов.

Кроме того, на морском дне существуют глубокие провалы, в которых бы потерялся и Большой каньон. Все провалы, расположенные вдоль линий островных архипелагов, имеют общую поверхность, насчитывающую примерно 1 процент океанского дна. Эта цифра не кажется внушительной, однако она равна всей площади Соединенных Штатов, а провалы содержат в 15 раз больше воды, чем все реки и озера мира. Самые глубокие провалы располагаются в Тихом океане, их можно найти у Филиппинского архипелага, Марианских, Курильских, Соломоновых и Алеутских

островов. Есть большие провалы также в Атлантике рядом с берегами Вест-Индии и Южных Сандвичевых островов; одна впадина располагается в Индийском океане близ Ост-Индии (Индия и некоторые страны Южной и Юго-Восточной Азии. — *Примеч. пер.*).

Помимо провалов океанографы нашли на океанском дне каньоны, иногда в тысячи миль длиной, которые выглядят похожими на речные русла. Некоторые из каньонов словно продолжают настоящие реки, особенно каньон, идущий от реки Гудзон в Атлантику. По крайней мере 20 таких огромных каньонов были обнаружены только в одном Бенгальском заливе во время океанографических исследований в 1960-х годах. Весьма любопытно выглядит гипотеза, что когда-то эти каньоны были руслами рек, когда уровень океана был значительно ниже. Но некоторые из подводных каналов находятся столь ниже современного уреза воды, что практически исключено их существование выше поверхности океана. Сравнительно недавно разные геологи, в частности Морис Эуин и Брюс С. Хизен, выдвинули гипотезу, что подводные каньоны появились в результате турбулентного движения (мутных течений) воды, содержащей частицы почвы при ее движении вниз по склонам континентов со скоростью приблизительно 60 миль в час. Одно такое течение, которое привлекло особое мнение ученых к данной гипотезе, было обнаружено в 1929 году после землетрясения у берегов Ньюфаундленда. Течение разорвало несколько кабелей, один за другим, что, в свою очередь, породило много проблем.

Однако наибольший сюрприз при изучении морского дна заключался не в этом. Самая неожиданная находка была обнаружена в 1853 году, когда через Атлантику полным ходом шла прокладка кабеля. Когда была определена глубина на середине Атлантики, неожиданно обнаружилось, что в центре Атлантики дно намного ближе к поверхности. Было похоже на то, что в Атлантике есть большое плато.

В то время определение глубины служило только практическим целям, но в 1922 году немецкое океанографическое судно «Метеор» приступило к изучению дна Атлантики при помощи ультразвуковых приборов. В 1925 году по результатам исследования было объявлено, что в Атлантическом океане проходит подводный горный хребет. Самые высокие пики поднялись над поверхностью воды и стали островами — Азорскими, Вознесения и Тристан-да-Кунья.

Позднее были проведены исследования морского дна, которые показали, что горный хребет есть не только в Атлантике. Есть еще один, начинающийся у южного конца Африки и проходящий по западной части Индийского океана к Аравии. В середине Индийского океана хребет разделяется, так что часть идет дальше на юг от Австралии и Новой Зеландии, а затем поворачивает на север,

делая огромный крюк вокруг всего Тихого океана. Хребет, как принято считать, начинается как Срединноатлантический хребет и позднее становится Срединноокеаническим хребтом. Следует особо отметить, что Срединноатлантический хребет не похож на горные хребты континента. Возвышенности на континенте состоят из складок осадочных пород, в то время как огромные горные хребты состоят из базальта, поднявшегося из более глубоких, расплавленных, уровней.

После Второй мировой войны Эуин и Хизен взялись за детальное исследование хребтов с новой энергией. При тщательном исследовании в 1953 году с помощью эхолотов было обнаружено, что вдоль всего горного хребта идет большой каньон, прямо по его центру. Это вызвало изумление исследователей. Позднее обнаружилось, что этот каньон продолжается по всему горному хребту, так что его иногда называют Великим рифтом. В некоторых местах рифт подходит довольно близко к Земле: он идет к Красному морю между Африкой и Аравией, проходит к границе Тихого океана у Калифорнийского залива и достигает побережья штата Калифорния.

Поначалу может показаться, что рифт непрерывен, представляя собой трещину в земной коре на протяжении 40 000 миль. Однако более тщательное исследование показало, что каньон состоит из коротких прямых отрезков, которые отстоят друг от друга, словно их раздвинуло сильное землетрясение. И в самом деле, вдоль всего рифта расположены зоны землетрясений и вулканической деятельности.

Разлом является «слабым» местом, через который прорывается магма — горячий расплав камня. Пробиваясь наверх, магма застывает, напоззает на верх горного хребта и спускается по его склонам вниз. Это расползание может происходить со скоростью до 16 сантиметров в год, так что все дно Тихого океана может быть покрыто новым слоем всего за 100 миллионов лет. И в самом деле, образцы, взятые с океанского дна, редко показывают больший возраст, что в свое время вызывало недоумение, поскольку Земля имеет в 45 раз больший возраст, и подобному возрасту морского дна существует только одно объяснение — расползание выстилающего дно материала.

Рифт и его ответвления как бы разделяют земную кору на шесть больших плит и несколько малых. Из-за активности вдоль каньона эти плиты движутся, но как единые куски; на самой плите поверхность остается неизменной. Именно движения этих плит и вынудили Пангею разделиться, а континенты заставили двигаться. И нет никаких причин, по которым континенты могли бы соединиться снова, в каком-то новом виде. Возможно, что за время существования Земли таких «Пангей» было несколько, и мы можем сейчас видеть следы только последнего разделения.

Концепция движения плит может объяснить многие особенности земной коры, которые другими способами объяснить невозможно. Когда две плиты медленно подходят друг к другу, земная кора сминается, создавая горы и их «корни». Таким образом, Гималаи, похоже, возникли оттого, что плита, на которой находилась Индия, вошла в контакт с плитой, на которой находилась остальная Азия.

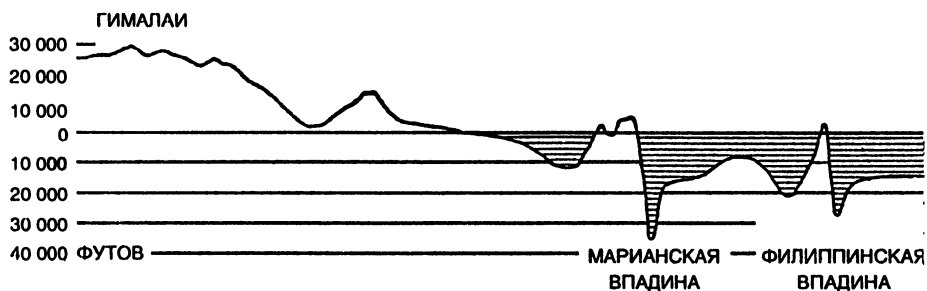
С другой стороны, когда две плиты приближаются друг к другу слишком быстро, чтобы появились складки, одна плита может зайти под другую, создавая глубоководную впадину, острова и создавая предпосылки для вулканической деятельности. Такие каньоны и острова были обнаружены, к примеру, в западной части Тихого океана.

Из-за расположения материала морского дна плиты отходят друг от друга или сходятся вместе. Рифт проходит прямо через Западную Исландию, которая (очень медленно) разделяется. Другим местом разделения является относительно молодое Красное море, которое и возникло потому, что Африка и Аравия разделились (противоположные берега Красного моря весьма точно совпадают, если их совместить). Процесс продолжается, так что Красное море является, в некотором смысле, новым океаном в процессе формирования. То, что в Красном море происходят процессы подъема волн на поверхность, показывает тот факт, что на дне этого моря, как было обнаружено в 1965 году, есть места, где температура составляет 56 °C, а концентрация соли превышает нормальную по крайней мере в пять раз.

Существование рифта, естественно, имеет очень важное значение для людей, живущих на той части поверхности Земли, которая находится по соседству с рифтом. К примеру, разлом Сан-Андреас в Калифорнии на самом деле является частью рифта, и именно из-за геологической деятельности в этой части произошло землетрясение в Сан-Франциско в 1906 году, а также землетрясение в Страстную пятницу на Аляске в 1964 году.

Удивительно, но в глубинах рифта есть жизнь. Всего столетие назад считалось, что жизнь возможна только близко к поверхности. На больших глубинах Средиземного моря, которое долгое время было центром цивилизации, и в самом деле практически нет жизни. Однако, несмотря на то что дно Средиземного моря является своего рода полупустыней — очень теплой и с низким содержанием кислорода, — английский натуралист Эдвард Форбз в 1840-х годах нашел живую морскую звезду на глубине четверть мили. А когда в 1860-х годах с глубины в одну милю был поднят телеграфный кабель, обнаружилось, что он покрыт кораллами и другими формами жизни.

В 1872 году «Челленджер» под руководством английского натуралиста Чарльза Уивилла Томсона во время путешествия протяженностью 69 000 миль предпринял первую систематическую попытку

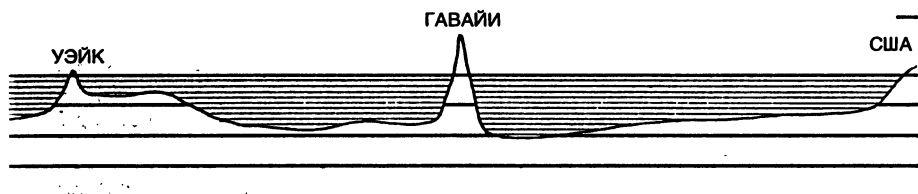


Профиль атлантического дна. Самые большие впадины морского дна находятся на глубине, которая превышает высоту вершин Гималаев над уровнем океана, а Гавайский пик выше любой другой вершины на Земле

поднять живые организмы со дна; он нашел их очень много. Подводный мир вовсе не оказался безмолвным. Используемые в последние годы устройства прослушивания воды, *гидрофоны*, выявили, что морские существа используют щелчки, хрюканье, треск, стоны и в целом делают океанские глубины столь же невообразимо шумными, как и земная поверхность. Со времен Второй мировой войны проводятся исследования морских глубоководных впадин. В 1951 году в Марианской впадине взял пробы новый «Челленджер»; именно он обнаружил, что эта впадина — самая глубокая на морском дне (а не впадина у Филиппинских островов). Ее глубина составляет 36 000 футов. Если поставить в эту впадину гору Эверест, над ее самым высоким пиком будет миля воды. Тем не менее «Челленджер» доставил со дна впадины бактерии. Они выглядели очень похожими на земные, но не могли жить при давлении меньше чем тысяча атмосфер!

Живущие во впадинах существа столь приспособились к жизни под большим давлением, что не способны подняться из своих глубин; они буквально обречены находиться на одном месте. Эти существа имеют свой собственный путь эволюции. Тем не менее в их строении столь много общего с другими организмами, что, по всей видимости, они развиваются во впадинах по историческим меркам сравнительно недолго. По всей видимости, соревнование с другими видами вынудило их отступать ниже и ниже, точно так же, как когда-то часть морских организмов вынуждена была подниматься выше и выше и стать надводными существами. Первая группа приспособилась к большим давлениям, вторая — к отсутствию воды. В целом второй тип приспособления потребовал более кардинальных перемен, так что нет ничего удивительного, что жизнь можно найти и в глубоководных впадинах.

Конечно, жизнь на больших глубинах не столь разнообразна, как вблизи поверхности. Масса живой материи на глубине в четыре с половиной мили составляет одну десятую массы на глубине двух миль. На глубине в четыре с половиной мили очень мало хищных



рыб — если они вообще есть, поскольку для них здесь мало добычи. Зато здесь много видов, питающихся падалью; они съедают всю органику, что могут найти. То, что впадины трудно осваиваются, видно из факта, что здесь не встречается видов, которые бы возникли раньше чем 200 миллионов лет назад; по большей части в глубине отсутствуют виды, чья история насчитывает меньше 50 миллионов лет. Только в начале эпохи динозавров большие глубины, до того свободные от жизни, были заселены.

Интересно, что некоторые виды сумели сохраниться в больших глубинах, в то время как их ближайшие родственники, жившие некогда у поверхности, вымерли. Это выяснилось в 1930-х годах, и при довольно интересных обстоятельствах. 25 декабря 1938 года рыболовный траулер, находившийся у берегов Южной Африки, вытащил на борт странную рыбину примерно в 5 футов длиной. Рыба имела ту странную особенность, что ее плавники исходили не из тела, а из массивных мочек. Южноафриканский зоолог Дж.Л.Б. Смит, которому выпал случай ее изучить, счел, что он получил бесценный рождественский подарок. Это оказался целикат, первобытная рыба, которая, как полагали зоологи, вымерла 70 миллионов лет назад. Это был живой образец животного мира, который, как считалось, исчез еще до того, как на Земле достигла своего пика эпоха динозавров.

Вторая мировая война прервала охоту за целикатами, но в 1952 году был выловлен еще один образец, у берегов Мадагаскара. К настоящему времени найдено уже большое число этих рыб. Поскольку они приспособлены к жизни в глубоководье, целикаты погибают вскоре после того, как их доставляют на поверхность.

Исследователям эволюции целикаты были особенно интересны, поскольку именно из этой рыбы появилось большинство амфибий; другими словами, целикаты являются прямыми потомками наших водных предков.

Точно так же, как лучшим путем исследования космоса является посылка туда человека, лучшим путем изучения глубин является погружение человека в водные пучины. Первый скафандр, который действительно можно было использовать для этой цели, был создан в 1830 году Августом Зибем. Водолаз в современном водолажном костюме может опуститься до примерно 300 футов. В

1934 году Чарльз Уильям Биб смог опуститься на глубину около 3000 футов в своей батисфере — маленьком подводном аппарате с толстыми стенками, с запасом кислорода и химическими реагентами для поглощения двуокси углерода. Член его экипажа, Отис Бартон, достиг в 1948 году глубины 4500 футов, используя более совершенную батисферу, которая называлась батискаф.

Батисфера представляет собой неподвижный объект, спускаемый с надводного судна на кабеле. Но для исследования впадины требовался подвижный аппарат. Такой аппарат, батискаф, был изобретен в 1947 году швейцарским физиком Огюстом Пикаром. Построенный так, чтобы выдерживать огромные давления, он содержал в качестве балласта железные дробины (которые немедленно отстреливаются в случае необходимости) для опускания вниз и баллон с бензином (который легче воды) для плавучести и устойчивости. Во время своего первого испытания в 1948 году у берегов Дакара, Западная Африка, батискаф (без людей на борту) опустился на глубину 4500 футов.

Позднее Пикар и его сын Жак создали улучшенную версию батискафа и назвали это судно «Триест», поскольку Свободная территория Триест частично покрыла расходы на постройку. (В 1947—1954 годах итальянский город Триест был под контролем англо-американских военных властей и назывался Свободная территория Триест. — *Примеч. пер.*) В 1953 году Пикар опустился на две с половиной мили в глубины Средиземного моря.

«Триест» был приобретен американскими военно-морскими силами для исследования. 14 января 1960 года Жак Пикар и служащий военно-морского флота Дон Уолш опустились на дно Марианской впадины, достигнув 7 миль глубины в самой глубокой части впадины. Здесь, в самом глубоком месте океана, где давление составляло 1100 атмосфер, они обнаружили подводное течение и живых существ. Любопытно, что первым существом, которое они увидели, было позвоночное — похожая на камбалу рыба длиной в один фут.

В 1964 году французский батискаф «Архимед» совершил 10 погружений в Пуэрториканской впадине, которая, с ее глубиной в пять с четвертью миль, является самой глубокой частью Атлантики. И здесь каждый квадратный фут океанского дна имеет свои формы жизни. Довольно странным выглядит тот факт, что дно во впадине опускается не постепенно, оно скорее похоже на террасы, подобные гигантским протяженным ступеням.

Ледяные шапки

Самые крайние точки нашей планеты всегда вызывали интерес человечества, а исследование полярных областей полно приключений, как ничто другое в истории науки. Полярные районы

полны романтики, живописных зрелищ, даже мистики: в них есть странные полярные сияния в небе, жуткий холод и особенно огромные ледяные шапки, или ледники, которые оказывают очень важное влияние на климат и, соответственно, на человеческую жизнь.

Приполярными районами человечество по-настоящему занялось довольно поздно, только во время великой эпохи исторических открытий, которая началась за открытием Колумбом Америки. Первые исследователи Арктики ставили перед собой задачу, главным образом, найти проход вокруг северной оконечности Северной Америки. Занимаясь этой проблемой, английский мореплаватель Генри Гудзон (работавший для голландцев) нашел в 1610 году и Гудзонов залив, и собственную смерть. Шестью годами позже еще один английский мореплаватель, Уильям Баффин, открыл то, что позднее назовут Баффинов залив, и подошел к Южному полюсу на расстояние всего в 800 миль. Позднее, в 1846—1848 годах английский исследователь Джон Франклин примется за исследования северного побережья Канады и откроет Северо-Западный проход (в то время это был наиболее непрактичный для мореходства проход). Исследователь скончался во время своей экспедиции.

Затем на протяжении полстолетия многие люди предпринимали попытку достичь Северного полюса, главным образом из-за желания увековечить таким образом свое имя. В 1873 году австрийские исследователи Юлиус Пайер и Карл Вайпрехт подошли к полюсу на расстояние 600 миль и назвали обнаруженную ими землю Землей Франца-Иосифа, в честь австрийского императора. В 1896 году норвежский исследователь Фритьоф Нансен, дрейфуя в арктических льдах, подошел к Северному полюсу на 300 миль. И наконец, 6 апреля 1909 года американский исследователь Роберт Эдвин Пири достиг самого полюса.

К нашему времени Северный полюс уже потерял большую часть своей загадочности. К нему добирались и по льду, и по воздуху, и под водой. Ричард Эвелин Бирд и Флойд Беннет были первыми, кто пролетел над полюсом, — это произошло в 1926 году. Под водой к полюсу подходили на подводных лодках.

Кроме полюса внимание исследователей привлекала к себе большая северная ледяная шапка, которая находится в центре Гренландии. К ней было отправлено большое количество научных экспедиций. Они обнаружили, что Гренландский ледник покрывает около 640 000 квадратных миль из всех 840 000 квадратных миль этого острова, а толщина ледяного панциря доходит в некоторых местах до одной мили.

По мере накопления льда ледник сползает к морю, где откалывается на самом краю берега и превращается в айсберги. Каждый год в Северном полушарии возникает около 16 000 айсбергов, 90 процентов из которых — это части ледяной шапки

Гренландии. Айсберги медленно идут на юг, по большей части по направлению к Западной Атлантике. Примерно 400 айсбергов в год проходят Ньюфаундленд, из-за чего становятся угрозой судоходству; между 1870-м и 1890 годами 14 кораблей затонуло и 40 было повреждено из-за столкновений с айсбергами.

Самым трагичным был 1912 год, когда роскошный лайнер «Титаник» столкнулся с айсбергом и затонул во время своего самого первого путешествия. С тех пор была установлена международная служба слежения, которая определяет положение этих огромных чудовищ. Со времени, когда был учрежден «ледяной патруль», с айсбергом не столкнулось ни одно судно.

Огромный континентальный ледник на Южном полюсе намного больше размером, чем Гренландский. Антарктический ледник превосходит Гренландский в 7 раз по площади и имеет среднюю толщину в полторы мили. Кое-где его глубина доходит до 3 миль. Этой своей мощью он обязан огромному размеру континента Антарктида, который занимает примерно 5 миллионов квадратных миль, хотя до сих пор точно неизвестно, какую долю занимает Земля, покрытая льдом, и какую — только лед. Некоторые исследователи полагают, что Антарктида представляет собой группу покрытых льдом больших островов, но в настоящее время большинство склоняется к мысли, что Антарктида все же представляет собой континент.

Знаменитый английский исследователь Джеймс Кук (более известный как капитан Кук) был первым европейцем, который пересек Полярный круг. В 1773 году Кук прошел по антарктическим районам (возможно, именно это путешествие вдохновило Сэмюэла Тэйлора Кольриджа на написание опубликованной в 1798 году книги «Поэма о старом моряке», в которой описывалось путешествие из Атлантики в Тихий океан через ледяные районы Антарктики).

В 1819 году английский исследователь Уильямс Смит открыл Южные Шетландские острова, всего в 50 милях от берегов Антарктиды; в 1821 году одна русская экспедиция обнаружила небольшой остров (остров Петра I) внутри Полярного круга. (Русская экспедиция под руководством адмирала Ф.Ф. Беллинсгаузена в январе 1820 года открыла Антарктиду. — *Примеч. пер.*) В том же самом году англичанин Джордж Пауэлл и американец Натаниель Б. Палмер впервые увидели полуостров, принадлежащий самому континенту Антарктика, — сейчас его называют полуостров Палмера (в России — Антарктический полуостров).

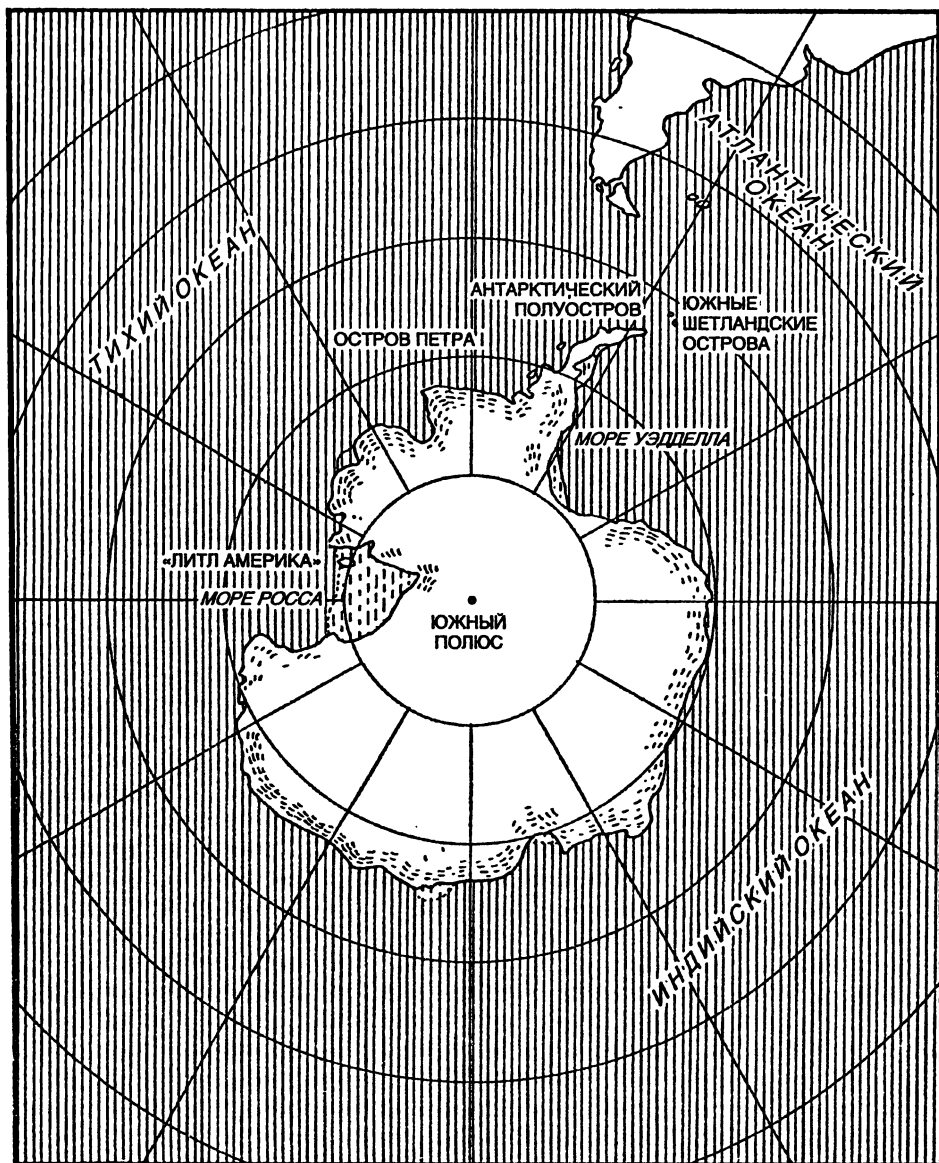
В последующие десятилетия исследователи упорно пробивались к Южному полюсу. К 1840 году американский военно-морской офицер Чарльз Уилкс объявил, что под ледяной массой находится земля, и впоследствии он оказался прав. Англичанин

Джеймс Уэдделл проник в океанский залив восточнее полуострова Палмера (в наши дни этот залив называется морем Уэдделла) и оказался всего в 500 милях от полюса. Еще один британский исследователь, Джеймс Кларк Росс, обнаружил еще один большой залив Антарктиды (сейчас он зовется морем Росса); он достиг места, отстоящего от полюса на расстоянии 710 миль. В 1902—1904 годах третий англичанин, Роберт Фолкон Скотт, прошел по шельфовому леднику Росса (часть покрытого льдом океана размером со штат Техас) до места, отстоящего от полюса на 500 миль. И в 1909 году еще один англичанин, Эрнст Шеклтон, подошел по льду к полюсу на расстояние 100 миль.

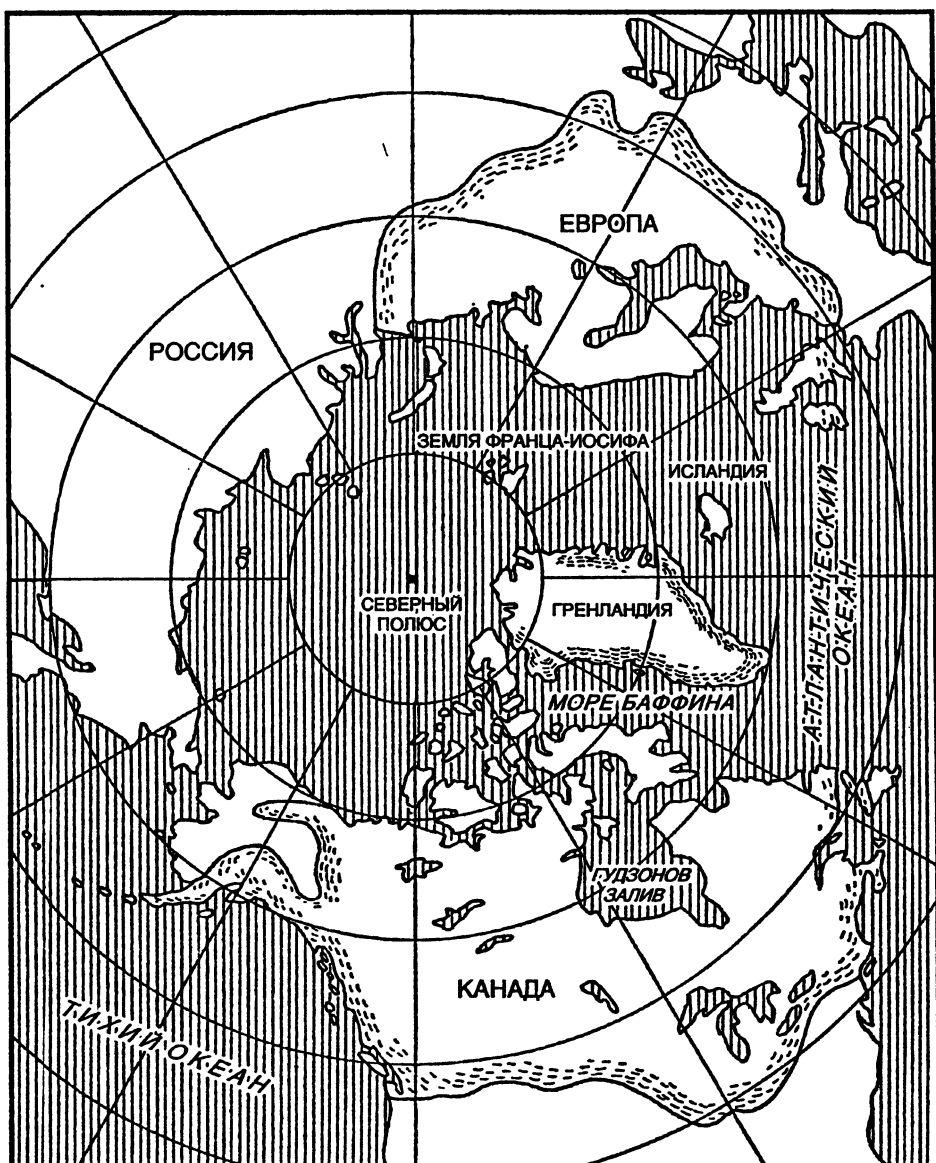
16 декабря 1911 года желанная цель была наконец достигнута норвежским исследователем Руалом Амундсеном. Скотт, который двигался отдельно, добрался до места через три недели, чтобы увидеть уже установленный Амундсеном флаг. На пути назад Скотт и его люди погибли.

В конце 1920-х самолеты позволили исследовать Антарктиду более подробно. Австралийский исследователь Джордж Хуберт Уилкинз пролетел 1200 миль над береговой линией, а Ричард Ивлин Берд в 1929 году пролетел над Южным полюсом. К этому времени в Антарктиде была основана первая база, «Литл Америка-1».

Северная и южная полярная области стали объектами наибольшего интереса во время самого грандиозного международного научного проекта современности. Международное сотрудничество берет свое начало в 1882—1883 годах, когда во время Международного полярного года многие страны присоединились к научным исследованиям и изучению таких феноменов, как полярное сияние, магнитное поле Земли и т. д. Проект оказался столь удачен, что в 1932—1933 годах он был проведен повторно; его назвали вторым Международным полярным годом. В 1950 году американский геофизик Ллойд Беркнер (который являлся участником первой антарктической экспедиции Бирда) предложил объявить еще один подобный международный год. Предложение было встречено с энтузиазмом в Международном совете научных союзов. На этот раз ученые подготовили новые приборы и предложили новые объекты исследований: о космических лучах, верхних слоях атмосферы, об океанских глубинах, даже о возможностях исследования космоса. Амбициозный Международный геофизический год должен был начаться 1 июля 1957 года и продолжаться до 31 декабря 1958 года (это время приходилось на максимум солнечной активности). Это предприятие смягчило сердца: даже главные антагонисты «холодной войны», Советский Союз и Соединенные Штаты, смогли отложить свои разногласия ради науки.



Главные континентальные ледники в наши дни в основном находятся в Гренландии и Антарктиде. Во время последнего ледникового периода при своем максимальном распространении ледники занимали большую часть Северной и Западной Европы и доходили даже южнее Великих озер Североамериканского континента



Хотя большая часть достижений Международного геофизического года осталась в тени из-за успешного запуска Советским Союзом и Соединенными Штатами спутников, наука пожала немало плодов, которые оказались не менее значительны. Самым главным из достижений оказалось интенсивное исследование Антарктики. Только Соединенные Штаты основали 7 станций, которые осуществляли забор проб из глубоких скважин, что позволило определить состав атмосферы по пузырькам воздуха во льду (которые, по всей видимости, образовались миллионы лет тому назад) и найти остатки бактерий. Некоторые бактерии, замерзшие на глубине 100 футов под поверхностью льда и, возможно, жившие столетие назад, были возвращены к жизни; они развивались нормально. В январе 1958 года советская группа основала базу на Полюсе недоступности — самом далеко расположенном в Антарктике месте, — и здесь, в 600 милях от Южного полюса, стала регистрировать температуру. В августе 1960 года (в Антарктиде это середина зимы) была зафиксирована температура -127°F ; этот холод мог заморозить двуокись углерода. В последующее десятилетие на Антарктиде работало уже с дюжину круглогодичных станций.

Самым драматическим было путешествие английских исследователей под руководством Вивиана Эрнста Фукса и Эдмунда Персиваля Хиллари, которые пересекли континент по снегу в первый раз в истории (конечно, с помощью средств передвижения и последних достижений науки). К слову, Хиллари был также первым, кто вместе с проводником Норгеем Тенцингом поднялся на гору Эверест.

Успех Международного геофизического года и проявленное при этом международное сотрудничество в самый разгар «холодной войны» привели к соглашению 1959 года между 12 странами о запрете всякой военной деятельности (включая ядерные взрывы и выброс радиоактивных веществ) в Антарктиде. Таким образом, Антарктиду оставляли исключительно местом научных исследований.

Запасы льда на Земле, составляющие приблизительно 9 миллионов кубических миль, покрывают примерно 10 процентов поверхности Земли. Около 86 процентов льда собрано в Антарктическом континентальном леднике и 10 процентов — в Гренландском леднике. Оставшиеся 4 процента приходятся на небольшие ледники в Исландии, Аляске, Гималаях, Альпах и некоторых других местах.

Ледники в Альпах изучаются уже долгое время. В 1820-х годах два швейцарских геолога, Ж. Венетц и Жан де Шапентье, заметили, что камни, характерные для Центральных Альп, встречаются в разных местах и на более северных равнинах. Как эти кам-

ни могли там оказаться? Геологи предположили, что горный ледник покрывал когда-то много большую территорию и когда он уходил, то нес за собой валуны и кучи разнообразных предметов. Швейцарский геолог Жан Луи Родольф Агасси внимательно изучил эту гипотезу. Он нанес на ледник полосы и стал наблюдать, переместятся ли они. К 1840 году он оставил последние сомнения — ледники двигались, словно очень медленная река, со скоростью примерно 225 футов в год. Проехавшись по Европе, Агасси нашел следы от ледника во Франции и Англии. У себя на родине он нашел булыжники, которые были занесены из других районов, причем булыжники содержали на себе следы протаскивания под ледником, когдадвигающийся ледник прижимал булыжники к мелким камням.

Агасси в 1846 году переехал в США и стал профессором Гарварда. Он нашел следы ледника в Новой Англии и на Среднем Западе. К 1851 году ему стало достаточно ясно, что когда-то большая часть Северного полушария находилась под большим континентальным ледником. После Агасси оставленные ледником осадки были подробно изучены. Эти исследования выявили, что ледник надвигался и отступал четыре раза. Всего 18 000 лет назад ледник доходил до места южнее Цинциннати. Когда ледник наступал, климат на юге становился влажнее и холоднее. Когда ледник отступал (оставляя после себя озера, из которых самые большие из ныне существующих — Великие озера между Канадой и США), климат на юге становился теплее и суше.

Последнее отступление льда имело место 8000—12 000 лет назад. До наступления эпохи ледников существовал период умеренного климата, который длился по меньшей мере 100 миллионов лет. Тогда на Земле не было континентальных ледников, даже на полюсах. Об этом свидетельствуют месторождения угля на Шпицбергене и небольшое количество угля в Антарктиде, поскольку уголь говорит о наличии в древности густых зарослей.

Приход и уход ледников оставляет свои следы не только на климате остальной части Земли, но даже на самой форме континентов. К примеру, если бы в наши дни ледники Гренландии и Антарктиды полностью растаяли, уровень океана поднялся бы примерно на 200 футов. Были бы затоплены прибрежные районы на всех континентах, вместе с крупнейшими городами мира; уровень воды поднялся бы до двадцатого этажа манхэттенских небоскребов. В то же время Аляска, Канада, Сибирь, Гренландия и даже Антарктида стали бы более обитаемы.

Совершенно противоположная ситуация наблюдалась в разгар ледникового периода. Из Мирового океана было извлечено в ледники столь много воды (а содержание воды в ледниках было в 3—4 раза больше ныне существующего), что уровень воды опустился на 440 футов ниже нынешнего. Когда это произошло, открылся континентальный шельф.

Континентальные шельфы — это соединяющие континенты относительно мелководные участки океанского дна. Морское дно уходит вниз более-менее постепенно до глубины приблизительно 130 метров. После этого спуск становится значительно более пологим, до тех пор пока не достигаются значительные глубины. Структурно континентальный шельф является частью материков, той частью, при помощи которых они соединяются; именно край шельфа является краем континента. В настоящее время в океане содержится воды достаточно, чтобы затопить континенты на их границах.

Но это не значит, что континентальные шельфы невелики по размерам. Порой они весьма обширны. У восточных берегов Соединенных Штатов существует значительный шельфовый район — хотя у западного берега он значительно меньше, поскольку здесь находится край кристаллической плиты. В целом континентальный шельф в среднем имеет примерно 50 миль ширины и в общей сложности насчитывает 10 миллионов квадратных миль. Другими словами, потенциально способная быть частью континента область под океанскими волнами больше по размерам, чем вся площадь Советского Союза.

Именно эта область появляется из-под воды во время максимального распространения ледников — и именно она стала частью континентов во время последнего ледникового периода. Из континентальных шельфов были извлечены окаменелые останки животных (такие, как бивни мамонтов), лежащие за многие мили от берега на глубине многих ярдов. Более того, из-за того, что северная часть континента была покрыта льдом, дождь в южных областях лил много чаще, чем в наши дни, и по этой причине пустыня Сахара была зеленой страной. Пересыхание Сахары началось после того, как начали таять полярные шапки; это происходило незадолго до начала исторических времен.

Населению приходилось мириться с природным маятником. Когда уровень океана падал, лед занимал все большие районы континента, но зато из воды поднимались континентальные шельфы, которые интенсивно заселялись, как и бывшие пустыни.

Говоря о ледниковых периодах, нельзя не задаться вопросами: что заставляло ледники наступать или отступать, почему ледниковые периоды относительно кратки, при этом за последние 100 миллионов лет был лишь 1 ледниковый период, который длился 1 миллион лет.

Наступление ледникового периода или его окончание могут быть вызваны небольшим изменением климата: достаточно только небольшого падения температуры, чтобы каждую зиму собиралось чуточку больше снега, который летом превращался бы в избыточный лед, или же чтобы каждое лето таяло немного боль-

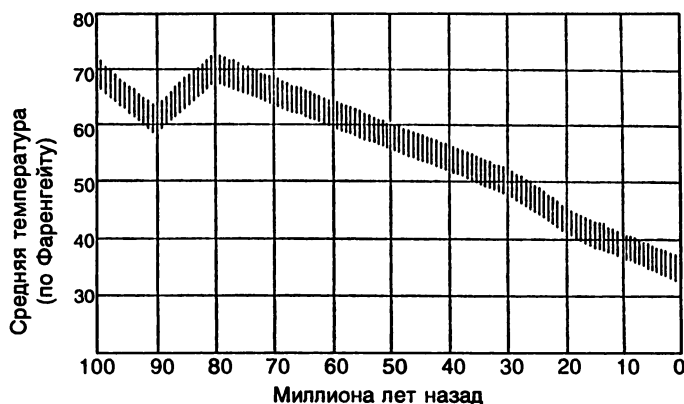


График температуры океана за последние 100 миллионов лет

ше снега, чем выпадало зимой. Было подсчитано, что падение температуры на Земле в среднем только на 3,5 градуса является достаточным, чтобы ледники начали расти — и точно такой же подъем температуры способен всего за несколько столетий избавить Антарктиду и Гренландию от ледников.

Такие изменения в температуре на Земле действительно имели место в прошлом. Сейчас возможно использовать метод, который позволяет определять температуру в отдаленные времена с удивительной точностью. Американский химик Джекоб Бигелайзен, работая с Г.С. Ури, в 1947 году доказал, что отношение содержания широко распространенного кислорода (кислорода-16) к его редким изотопам (к примеру, кислороду-18) в соединениях обычно изменяется с температурой. Это значит, что, измеряя отношение кислорода-16 к кислороду-18 в древних окаменелостях морских животных, можно установить температуру океанской воды в то время, когда жили животные. К 1950 году Ури и его группа создали столь совершенную технологию, что, анализируя раковину жившего миллион лет назад кальмара одного из вымерших видов, могли определить, что это существо появилось на свет летом, жило четыре года и скончалось весной.

По «термометру» Бигелайзена было установлено, что 100 миллионов лет назад средняя температура в океане составляла примерно 20 °C. За 10 миллионов лет температура постепенно понизилась до 15 °C, после чего за 10 миллионов лет снова поднялась до 20 °C. С тех пор температура океана неуклонно опускается. Возможно, именно это охлаждение стало причиной исчезновения динозавров (которые, по всей видимости, были приспособлены только к умеренному и ровному климату) и дало преимущество теплокровным птицам и млекопитающим, которые могли поддерживать в теле постоянную внутреннюю температуру.

Цезаре Эмилиани, используя технику Ури, изучил раковины форалинифер, поднятые с океанского дна. Он обнаружил, что 30 миллионов лет назад средняя температура была около 10°C , 30 миллионов лет назад — 0°C , 20 миллионов лет назад — 7°C . В наши дни она составляет 3°C .

Что вызвало такое долговременное изменение температуры? Одно из возможных объяснений — это вызванный углекислым газом так называемый «парниковый эффект». Углекислый газ довольно сильно поглощает инфракрасные лучи. Это означает, что, когда в атмосфере находится большое количество углекислого газа, ночью он мешает воде отдавать полученное за день тепло, в результате тепло накапливается. И напротив, когда содержание углекислого газа в атмосфере мало, Земля постепенно охлаждается.

Если существующая в настоящее время концентрация углекислого газа в воздухе удвоится (с 0,03 процента в воздухе до 0,06 процента), то это вызовет подъем температуры на Земле на три градуса и немедленно приведет к стремительному таянию континентальных ледников. Если же содержание углекислого газа упадет вдвое, температура соответственно уменьшится и ледники снова дойдут до района, где ныне находится Нью-Йорк.

Вулканы выбрасывают в атмосферу большое количество углекислого газа; при эрозии скал происходит абсорбция углекислого газа (так формируется известняк). Таким образом, к долгосрочному изменению климата приводят два механизма. Период необычно интенсивной вулканической активности может привести к выбросу в воздух большого количества углекислого газа, что вызывает потепление на Земле. И напротив, в эпоху интенсивного горообразования, когда появляются новые обширные районы с еще не подвергшимися эрозии горами, это приводит к понижению содержания в атмосфере углекислого газа. По всей видимости, именно это и произошло в конце мезолита (эпохи рептилий), примерно 80 миллионов лет назад, когда началось продолжительное понижение температуры Земли.

Но по какой причине на протяжении последних миллионов лет наступали и уходили ледниковые периоды? Откуда это быстрое изменение в поведении ледников и стремительное таяние на протяжении сравнительно короткого времени всего в десятки тысяч лет?

В 1920 году сербский физик Милутин Миланкович предположил, что незначительные изменения взаимного положения Земли и Солнца могли бы объяснить эту ситуацию. Иногда наклон земной оси изменяется; иногда ее перигелий (максимальное приближение к Солнцу, находящемуся на своей орбите) немного ближе, чем обычно. Миланкович доказывал, что сочетание этих факторов мог-

ло настолько повлиять на количество тепла, получаемого от Солнца, например, Северным полушарием, что оно могло вызвать циклический рост и спад его средней температуры. Он считал, что подобный цикл может продолжаться 40 000 лет, давая Земле «великую весну», «великое лето», «великую осень» и «великую зиму», каждые продолжительностью по 10 000 лет. Точная датировка коралловых рифов и отложения на глубине моря подтверждали подобные изменения температуры.

Разница между великим летом и великой зимой незначительна, и теория подразумевает, что только после длительного периода снижения общей температуры Земли произошел дополнительный небольшой спад температуры великой зимы, достаточный для снижения температуры Северного полушария до момента, когда начался ледниковый период миллион лет назад. Согласно теории Миланковича, сейчас мы живем во время великого лета, и через 10 000 лет или около того начнется очередная великая зима.

Теория Миланковича встревожила некоторых геологов, главным образом потому, что она подразумевает, что ледниковые периоды в Северном и Южном полушариях начались в разное время, что не подтверждалось. За последние годы было предложено несколько других теорий: о том, что Солнце имеет циклы незначительных колебаний отдачи своего тепла; о том, что скорее вулканическая пыль, а не углекислый газ является причиной потепления, вызванного «парниковым эффектом»; и так далее. Альтернативная гипотеза была выдвинута Морисом Эвингом из геологической обсерватории «Ламонт» и его коллегой, Уильямом Донном.

Эвинг и Донн приписывают последовательность ледниковых периодов в Северном полушарии географическим условиям вокруг Северного полюса. Северный Ледовитый океан практически полностью окружен сушей. Во время умеренных периодов до того, как начался последний ледниковый период, когда океан был водной поверхностью без ледяного покрова, ветры, дувшие над ней, подхватывали водяной пар и в Сибири и Канаде выпадал снег. По мере того как ледники увеличивались на суше, в соответствии с теорией Эвинга—Донна, Земля поглощала меньше солнечного тепла, поскольку слой льда, а также облака, возникавшие в результате ветреной погоды, отражали часть солнечного света. Следовательно, общая температура Земли понижалась. Но по мере снижения температуры Земли Северный Ледовитый океан замерз, и, значит, ветры уносили из него меньше влаги. Меньшее количество влаги в воздухе означало меньше снега зимой. Таким образом, тенденция стала обратной: зимы стали менее снежными, летнее таяние стало преобладать над зимними снегопадами. Ледники отступали до того момента, когда Земля достаточно нагрелась для того, чтобы растопить Северный Ледо-

витый океан снова до состояния незамерзающей водной поверхности — и в этот момент цикл начался заново, с восстановлением ледников.

Кажется парадоксальным, что скорее таяние Северного Ледовитого океана, чем его замерзание, вызвало ледниковый период. Однако географы находят эту теорию вероятной и способной объяснить множество вещей. Главная проблема, связанная с этой теорией, заключается в том, что она делает отсутствие ледниковых периодов во времена до миллиона лет назад еще более загадочным, чем когда-либо. Однако у Эвинга и Донна имеется ответ на этот вопрос. Они предполагают, что в течение длительного периода мягкого климата до наступления ледниковых периодов Северный полюс мог находиться в Тихом океане. В этом случае большая часть снега должна была выпадать в океан, а не на сушу, и при этом не могло образоваться значительных ледников.

Конечно, Северный полюс имеет постоянное незначительное движение, и он движется по 30-футовым неравномерным окружностям в период 435 дней или около того, что было обнаружено в начале XX века американским астрономом Сетом Карло Чендлером. Кроме того, с 1900 года Северный полюс переместился на 30 футов по направлению к Гренландии. Однако подобные изменения, возможно вызванные землетрясениями и последующими смещениями распределенной массы на земном шаре, — всего лишь пустяки.

Чего не хватает теории Эвинга—Донна, так это большого размаха. Вероятно, его можно достичь, учитывая континентальный дрейф. По мере того как пласты земной коры смещаются, Северный полюс может время от времени закрываться со всех сторон сушей или оставаться в открытом море. Однако могут ли подобные изменения, вызываемые смещениями, согласоваться с тем, что периоды оледенения происходят или не происходят?

Какова бы ни была причина возникновения ледниковых периодов, сегодня кажется, что человек сам способен изменять климат на долгое время вперед. Американский физик Джилберт Н. Пласс предположил, что мы, возможно, наблюдаем последний из ледниковых периодов, поскольку печи цивилизации выбрасывают в атмосферу углекислый газ. Сотня миллионов труб непрерывно выбрасывает в воздух углекислый газ; общее его количество за год составляет 6 миллиардов тонн, что равняется 200 его объемам, выбрасываемым при извержении вулканов. Пласс отмечал, что начиная с 1900 года содержание углекислого газа в земной атмосфере выросло приблизительно на 10 процентов и может увеличиться еще больше к 2000 году. Согласно его расчетам, эта добавка к «парниковой» защите Земли от исчезновения тепла должна повышать среднюю температуру примерно на 1,1 градуса за 100 лет. В течение первой половины XX столетия средняя температура действительно выросла с этой скоростью,

согласно имеющимся данным (большей частью в Северной Америке и в Европе). Если потепление будет продолжаться с той же скоростью, континентальные ледники могут исчезнуть в течение века или двух.

Исследования, проведенные в Международный геофизический год, казалось, подтверждают, что ледники действительно отступают практически повсеместно. Об одном из крупных ледников в Гималаях сообщалось, что в 1959 году он уменьшился на 700 футов по сравнению с 1935 годом. Другие ледники отступали на 1000 и даже на 2000 футов. Рыба адаптировалась к охладившейся воде и мигрирует на север, а деревья, растущие в теплом климате, наступают в том же направлении. Уровень моря незначительно повышается каждый год, как и предполагается в случае таяния ледников. Уровень моря уже настолько высок, что во время сильных штормов в период высокого прилива океан практически угрожает затопить систему метрополитена Нью-Йорка.

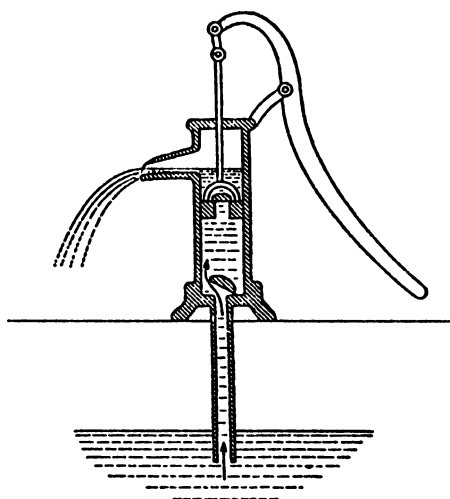
И тем не менее кажется, что наблюдается незначительное снижение температуры начиная с начала 40-х годов XX века, так что половина разницы температур между 1880-м и 1940 годами исчезла. Это может происходить из-за увеличившегося количества пыли и смога в воздухе начиная с 1940 года: частиц, которые отрезают солнечный свет и в определенном смысле затеняют Землю. Может показаться, что два различных вида загрязнения атмосферы, вызванные человеком, в настоящее время нейтрализуют действие друг друга, как минимум, в этом отношении и, как минимум, временно.

Глава 4 **АТМОСФЕРА**

Оболочки в воздухе

Аристотель предполагал, что мир состоит из четырех оболочек, составляющих четыре элемента материи: земля (твердый шар), вода (океан), воздух (атмосфера) и огонь (невидимая внешняя оболочка, которая время от времени становится видимой при вспышках молнии). Вселенная за этими оболочками, по его представлениям, состояла из неземного, совершенного пятого элемента, который он называл эфиром (производное от латинского названия «квинтэссенция», что означает «пятый элемент»).

Для пустоты в этой схеме не было предусмотрено места: где заканчивалась земля, начиналась вода; где заканчивалось и то и другое, начинался воздух; где заканчивался воздух, там начинался огонь; а там, где заканчивался огонь, начинался эфир и продолжался до границы Вселенной. Как говорили древние, «природа не терпит вакуума» (латинское слово, обозначающее «ничто»).



Принцип действия всасывающего насоса

Всасывающий насос, одно из ранних изобретений для поднятия воды из скважин, похоже, замечательно иллюстрирует эту ненависть к вакууму. Поршень тесно входит в цилиндр. Когда рукоятка насоса опускается вниз, поршень выталкивается вверх, оставляя вакуум в нижней части цилиндра. Но, поскольку природа не терпит вакуума, окружающая вода открывает одноходовой клапан внизу цилиндра и устремляется в вакуум. Повторяющиеся движения закачивают воду выше и выше в цилиндр до тех пор, пока не наполнится емкость насоса.

Согласно теории Аристотеля, таким образом можно заставить воду подниматься на любую высоту. Однако шахтеры, которым приходилось откачивать воду из глубины шахт, обнаружили, что, как бы много и долго они ни откачивали воду, они никогда не могли поднять ее выше чем на 33 фута от ее естественного уровня.

Галилей заинтересовался этой загадкой к концу своей долгой и любопытной жизни. Он не мог прийти ни к какому заключению, кроме того, что природа, очевидно, не терпела вакуума только до определенного предела. Он заинтересовался тем, оказался бы этот предел ниже, если бы он использовал жидкость более плотную, чем вода, но он умер до того, как смог поставить этот эксперимент.

Ученики Галилея, Эвангелиста Торричелли и Винченцо Вивини, поставили этот опыт в 1644 году. Выбрав ртуть (которая в тринадцать с половиной раз плотнее воды), они заполнили ею стеклянную трубку длиной в один ярд, закупорили один ее конец, перевернули трубку в сосуд со ртутью и удалили заглушку. Ртуть начала вытекать из трубки в сосуд, но, когда ее уровень понизился до 30 дюймов над уровнем сосуда, она прекратила вытекать из трубки и осталась на этом уровне.

Так был сконструирован первый барометр. Современные ртутные барометры принципиально не отличаются от этого. Не много времени ушло на то, чтобы открыть, что высота столба ртути не всегда была одной и той же. Английский ученый Роберт Хук отмечал в 60-х годах XVII века, что высота столба ртути умень-

шалась перед бурей, таким образом указывая путь к научному предсказанию погоды, или метеорологии.

Что же удерживало ртуть наверху? Вивиани предположил, что это был вес атмосферы, давящий на жидкость в сосуде. Эта мысль была революционной, поскольку идея Аристотеля состояла в том, что воздух не имеет веса, только принимая форму правильной сферы над землей. Теперь стало ясно, что столб воды высотой 33 фута, или 30-дюймовый столб ртути, измерял вес атмосферы, то есть вес столба воздуха того же поперечного сечения над уровнем моря до того места, куда доходил воздух.

Этот эксперимент также показал, что природа не обязательно не приемлет вакуума ни при каких обстоятельствах. Пространство, остающееся в закрытом конце трубки после падения уровня ртути, было вакуумом, не содержащим ничего, кроме очень незначительного объема паров ртути. Эта *пустота Торричелли* была первым действительным вакуумом, полученным человеком.

Вакуум был поставлен на службу науке практически моментально. В 1650 году немецкий ученый Атанасиус Кирхер продемонстрировал, что звук не мог передаваться в вакууме, таким образом поддерживая идею Аристотеля. В следующем десятилетии Роберт Бойль продемонстрировал, что очень легкие предметы падают в вакууме так же быстро, как и тяжелые предметы, таким образом поддерживая теорию движения Галилея и опровергая взгляды Аристотеля.

Если воздух имеет конечный вес, он должен иметь и определенную конечную высоту. Вес атмосферы, согласно вычислениям, составлял 14,7 фунта на квадратный дюйм; на этом основании получалось, что высота атмосферы составляла около 5 миль — как будто она имела очень равномерную плотность на всем пути вверх. Но в 1662 году Бойль продемонстрировал, что этого не могло быть, поскольку давление увеличивало плотность воздуха. Он установил трубку в форме буквы «J» и налил немного ртути в трубку, с ее ровного конца. Ртуть захватила небольшое количество воздуха в закрытый конец трубки. По мере того как он наливал больше ртути, пузырек воздуха сжимался. В то же самое время его давление, как установил Бойль, увеличивалось, поскольку он сжимался все меньше и меньше по мере того, как ртуть становилась тяжелее. Проведя этот эксперимент, Бойль продемонстрировал, что сокращение объема газа наполовину вдвое увеличивало его давление; другими словами, объем изменялся обратно пропорционально давлению. Это историческое открытие, известное как *закон Бойля*, стало первым шагом в долгой цепи открытий о материи, которые в конце концов привели к атомной теории.

Поскольку воздух сжимался под действием давления, он должен был иметь максимальную плотность на уровне моря и постепенно становиться тоньше по мере того, как вес находяще-

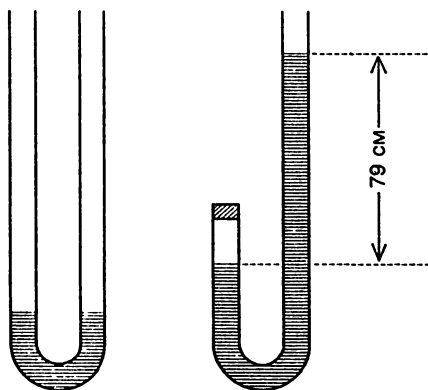


Схема эксперимента Бойля

гося над ним воздуха снижался к верхнему слою атмосферы. Это было впервые продемонстрировано французским математиком Блезом Паскалем, который в 1684 году отправил своего шурина Флорина Перьера на милю вверх на склон горы, снабдив его барометром и объяснив, как надо отмечать падение уровня ртути по мере увеличения высоты.

Теоретические вычисления показали, что, если бы температура оставалась постоянной, давление воздуха уменьшалось

бы вдесятеро при каждом подъеме на 12 миль по высоте. Другими словами, на высоте 12 миль столб ртути, который оно могло поддерживать, упал бы с 30 дюймов до 3; на уровне 24 миль высота его составила бы 0,3 дюйма; на высоте 36 миль высота была бы 0,03 дюйма и т. д. На уровне 108 миль давление воздуха составляло бы только 0,000000003 дюйма ртутного столба. Это могло показаться незначительным, но вес воздуха над всей Землей на высоте свыше 108 миль составляет 6 миллионов тонн.

В действительности все эти цифры являются лишь приближительными, поскольку температура воздуха меняется с высотой. Тем не менее они проясняют картину, и мы можем увидеть, что у атмосферы не существует конечной границы; она просто постепенно исчезает в пустоте космоса. Следы, оставляемые метеорами при падении, были обнаружены на высоте сотни миль, где давление воздуха составляет лишь одну миллионную давления у поверхности Земли, а плотность воздуха — только одну миллиардную плотности воздуха у поверхности Земли. Однако этого достаточно для того, чтобы эти маленькие частицы материи сгорели из-за трения. А северные сияния, образующиеся из светящихся пучков газа, бомбардируемого частицами из космоса, располагались на высоте от 500 до 600 миль над уровнем моря.

До конца XVIII века казалось, что человек никогда не сможет достигнуть в атмосфере более высокой точки, чем вершины гор. Вершиной, ближайшей к центру научных исследований, была гора Монблан в Юго-Восточной Франции, и ее высота составляла 3 мили. Интересная попытка заменить технологию покорения вершин появилась в 1749 году, когда шотландский астроном Александр Уилсон прикрепил термометры к воздушным змеям, надеясь таким образом измерить атмосферное давление на высоте. Однако действительный прорыв произошел в 1782 году, когда братья-францу-

зы Джозеф Мишель и Жак Монгольфьер развели костер под большим мешком с отверстием внизу и таким образом наполнили мешок горячим воздухом. Шар медленно поднимался; братьям Монгольфьер удалось успешно запустить первый воздушный шар! В течение нескольких месяцев шары надували водородом, газом, плотность которого составляет четырнадцатую часть плотности воздуха, поэтому каждый фунт водорода мог уносить в верхние слои атмосферы полезную нагрузку до 13 фунтов. Тогда гондолы вскоре начали перевозить животных, а потом и людей.

В течение года с момента запуска первого воздушного шара американец Джон Джеффрис совершил полет на воздушном шаре вокруг Лондона с барометром и другими приборами, а также устройствами для забора воздуха на разной высоте. К 1804 году французский физик Джозеф Луи Гей-Люссак поднялся в воздух почти на четыре с половиной мили и добыл образцы разреженного воздуха. Подобные приключения были более безопасно проделаны французским воздухоплавателем Жан-Пьером Бланкаром, который в 1785 году, на заре развития воздухоплавания, изобрел парашют.

Этим практически достигался предел для людей в открытых гондолах; 3 человека поднялись на высоту 6 миль в 1875 году, но только один из них, Гастон Тиссандье, выжил при недостатке кислорода. Он смог описать симптомы кислородной недостаточности, и так произошло рождение авиационной медицины. Воздушные шары без людей на борту, используемые для перевозки приборов, были разработаны и использовались с 1892 года; их можно было запускать еще выше и получать с их помощью информацию о температуре и давлении из ранее неисследованных областей.

По мере набора высоты в первые несколько миль температура падала, как и предполагалось. На уровне 7 миль или около того температура составляла -55°C . Но затем происходило удивительное. Выше этого уровня температура не падала. На самом деле она даже незначительно увеличивалась.

Французский метеоролог Леон Филипп Тессерен де Бор в 1902 году предположил, что атмосфера может иметь два слоя: 1) турбулентный нижний слой, содержащий облака, ветры, штормы и все известные изменения погоды (в 1908 году он назвал этот слой *тропосферой*, от греческих слов «сфера изменений»); 2) значительно более высокий слой, содержащий промежуточные слои более легких газов, гелия и водорода (он назвал этот слой *стратосферой*, что означало «многослойная сфера»). Де Бор назвал уровень, на котором температура приостанавливала снижение, *тропопаузой*, то есть «концом изменений», или границей между тропосферой и стратосферой. Обнаружилось, что тропопауза находится на высоте от 10 миль над уровнем моря на экваторе до всего лишь 5 миль на полюсах.

В течение Второй мировой войны высоколетящие бомбардировщики Соединенных Штатов обнаружили выдающийся феномен под тропопаузой: *струйное течение*, состоящее из очень сильных, постоянных ветров, дующих с запада на восток со скоростью до 500 миль в час. В действительности существует два струйных течения, одно в Северном полушарии на общей широте Соединенных Штатов, Средиземного моря и Северного Китая, и другое — в Южном полушарии, на широте Новой Зеландии и Аргентины. Эти потоки изгибаются, часто превращаясь в вихри, и заходят далеко на север или юг от своего обычного направления. Сейчас самолеты используют преимущество, предоставляемое возможностью лететь, подгоняемые этими быстрыми ветрами. Однако гораздо более важным является открытие, заключающееся в том, что струйные течения оказывают мощное влияние на движение воздушных масс на более низких уровнях. Эти знания помогли в развитии искусства определения и прогнозирования погоды.

Но люди не отказывались от стремления исследовать воздушное пространство лично, а не только с помощью инструментов. Человек не мог выжить в тонком, холодном слое атмосферы на огромной высоте. Но зачем подвергать себя действию открытой атмосферы? Почему бы не использовать герметичную кабину, внутри которой можно поддерживать температуру и давление, характерные для поверхности Земли?

В 30-х годах XX века благодаря герметичным аппаратам люди достигли пределов стратосферы. В 1931 году братья Пиккард (Август и Жан-Феликс), первый из которых изобрел батискаф, поднялись на 11 миль на воздушном шаре, несущем герметичную гондолу. Затем воздушные шары, сделанные из эластичного материала, который был легче и менее пористый, чем шелк, сделали возможным подъем на большие высоты. В 1938 году воздушный шар, названный «Исследователь-II», поднялся на высоту тринадцать миль, а к 1960 году воздушные шары с человеком на борту поднялись на высоту 21,5 мили, а воздушные шары без людей — почти на 29 миль.

Эти полеты на большой высоте продемонстрировали, что зона почти постоянной температуры не распространяется бесконечно вверх. Стратосфера заканчивалась на высоте около 20 миль, поскольку температура выше этого уровня начинала расти!

В эту «верхнюю атмосферу», расположенную выше стратосферы и содержащую только 2 процента всей воздушной массы Земли, удалось проникнуть только в 40-х годах XX века. К этому времени человеку нужен был уже другой тип транспорта — ракеты.

Китайцы еще в XIII веке изобрели и использовали небольшие ракеты в целях психологической войны — для устрашения врага. Современная западная цивилизация приспособила ракеты для

убийства. В 1801 году британский эксперт в области артиллерии, Уильям Конгрив, изучив вопрос о ракетах на Востоке, когда индийские войска использовали их против британцев в 80-х годах XVIII века, создал ряд смертоносных ракет. Некоторые из них были использованы против Соединенных Штатов в войне 1812 года, в особенности при бомбардировке форта Макгенри в 1814 году. Ракетное оружие постепенно блекло перед лицом улучшений в номенклатуре, точности и мощи обычной артиллерии. Однако во время Второй мировой войны были разработаны американская базаука и советская «катюша», которые, в сущности, представляют собой запускаемые с помощью ракет заряды взрывчатки. Реактивные самолеты, причем в гораздо большем количестве, также использовали принцип действия ракеты.

В начале XX века два человека независимо друг от друга задумали новую и более точную сферу применения ракет — исследование верхних слоев атмосферы и космоса. Это были русский ученый Константин Циолковский и американец Роберт Хатчингс Годдард. (В свете последних достижений выглядит достаточно странным, что русский и американский ученые были первыми предвестниками ракетной эпохи, хотя обладающий воображением немецкий изобретатель Герман Гансвиндт также выдвинул в этой области еще более амбициозные, хотя и менее систематизированные и научные для того времени рассуждения.)

Русский ученый был первым, кого напечатали; он публиковал свои рассуждения и вычисления с 1903-го по 1913 год, в то время как Годдарда не печатали до 1919 года. Однако Годдард первым применил свои рассуждения на практике. 16 марта 1926 года с занесенной снегом фермы в Аубурне, штат Массачусетс, он запустил ракету на 200 футов в небо. Замечательный факт, связанный с этой ракетой, заключается в том, что она приводилась в движение жидким топливом, а не пороховым зарядом. И в то время как в обычных ракетах, базуках, реактивных самолетах и подобных конструкциях применялся кислород из окружающего воздуха, ракете Годдарда, разработанной для работы в открытом космосе, требовался свой собственный окислитель в виде жидкого кислорода (ЖК, как его называли на профессиональном сленге).

Жюль Верн в своих научно-фантастических романах XIX века представлял пушку как устройство для запуска путешественников на Луну, но пушка расходует всю свою энергию при выстреле, когда атмосфера имеет наибольшую толщину и оказывает максимальное сопротивление. Ракеты Годдарда двигались вверх сначала медленно, набирая скорость и расходуя последнее топливо высоко в разреженных слоях атмосферы, где сопротивление невелико. Постепенное наращивание скорости означает, что ускорение сохраняется на приемлемых уровнях, что является важным моментом для пилотируемых аппаратов.

К сожалению, достижения Годдарда не привлекли внимания, за исключением возмущения соседей, которые смогли добиться того, чтобы он проводил эксперименты где-нибудь в другом месте. Годдард начал запускать свои ракеты в более уединенной обстановке, и между 1930-м и 1935 годами его ракеты смогли достичь скорости 550 миль в час и высоты 1,5 мили. Он разрабатывал системы управления ракетами в полете, а также гироскопы для того, чтобы ракета была ориентирована в правильном направлении. Годдард также запатентовал идею многоступенчатых ракет. Поскольку каждая последующая ступень сбрасывает часть изначального веса и стартует с большей скоростью, сообщенной предыдущей ступенью, ракета, разделенная на несколько ступеней, может достичь гораздо больших скоростей и больших высот, чем ракета с таким же запасом топлива, как у ракеты с одной ступенью.

Во время Второй мировой войны военный флот Соединенных Штатов поддерживал эксперименты Годдарда. В это время немецкое командование бросило главные силы на исследования в области ракетостроения, используя в качестве своего главного корпуса группу молодых специалистов, которые были вдохновлены в первую очередь Германом Обертом, румынским математиком, который в 1923 году написал труды по ракетам и освоению космоса независимо от Циолковского и Годдарда. Германия начала свои исследования в 1935 году, и кульминацией этого развития стала разработка «V-2». Под руководством эксперта в области ракетостроения, Вернера фон Брауна (который после окончания Второй мировой войны посвятил свой талант служению Соединенным Штатам), первая настоящая ракета была запущена в 1942 году. «V-2» вошла в употребление в 1944 году, слишком поздно для того, чтобы нацисты смогли выиграть войну, хотя они выпустили 4300 ракет, 1230 из которых были выпущены по Лондону. Ракеты фон Брауна уничтожили 2511 англичан и серьезно ранили 5869 человек.

10 августа 1945 года, почти в день окончания войны, Годдард скончался — именно в то время, чтобы увидеть, что из его искры, наконец, получилось пламя. Соединенные Штаты и Советский Союз, подстегиваемые успехом ракеты «V-2», занялись исследованием ракет, и каждая из этих стран переманивала как можно больше немецких специалистов в ракетостроении на свою сторону.

К 1949 году Соединенные Штаты запустили захваченную немецкую «V-2» на высоту 128 миль, и в том же году их эксперты в ракетостроении отправили «WAC-Corporal», вторую ступень двухступенчатой ракеты, на высоту 250 миль. Началось исследование верхних слоев атмосферы.

Сами по себе ракеты не сыграли бы большой роли в этом исследовании, если бы не обладали сопутствующим изобретением —

телеизмерением. Впервые телеизмерение было применено для исследования атмосферы на воздушном шаре в 1925 году русским ученым Петром Молчановым.

В сущности, эта технология «измерения на расстоянии» вызывает преобразование измеряемых параметров (например, температуры) в электрические импульсы, передаваемые обратно на Землю по радио. Наблюдения принимают форму изменений интенсивности или промежутков между импульсами. Например, изменение температуры влияет на электрическое сопротивление провода и таким образом изменяет природу импульса; изменение атмосферного давления аналогично преобразуется в определенный вид сигнала вследствие того, что воздух охлаждает провод, и степень охлаждения зависит от давления; излучение компенсирует импульсы в детекторе и т. д. Сегодня телеизмерения стали настолько разработанной технологией, что кажется, что ракеты умеют все, разве только не разговаривают, и их сложные сообщения должны интерпретироваться быстродействующими компьютерами.

Так, ракеты и телеизмерения показали, что выше стратосферы температура росла до максимум -10°C на высоте 30 миль и затем снова падала до -90°C на высоте 50 миль. Эта область роста и падения температуры называется *мезосфера*, слово, придуманное в 1950 году британским геофизиком Сиднеем Чепменом.

Масса всего разреженного воздуха, находящегося выше мезосферы, насчитывает лишь тысячные доли процента от общей массы атмосферы. Однако наличие *атомов воздуха* постоянно увеличивает температуру, по оценкам, на 1000°C на высоте 300 миль и, возможно, до больших значений на еще больших высотах. Поэтому она называется *термосфера* (сфера тепла) — необычный отголосок изначальной идеи Аристотеля о сфере огня. Конечно, здесь температура не означает нагрева в обычном смысле слова: это просто мера скорости частиц.

На уровне выше 300 миль мы подходим к *экзосфере*. Этот термин был впервые использован Лайманом Спитцером в 1949 году; экзосфера простирается на высоту до 1000 миль и затем постепенно сливается с межпланетным пространством.

Увеличивающиеся знания об атмосфере могут в будущем позволить человеку не только говорить о погоде, но и как-то повлиять на нее. Некоторое начало этому уже положено. В начале 1940-х годов американские химики Винсент Жозеф Шaeфер и Ирвин Лэнгмюр заметили, что очень низкие температуры приводят к появлению ядер, вокруг которых формируются дождевые капли. В 1946 году с самолета в облако был сброшен углекислый газ в виде пудры; эта пудра должна была стать ядрами («семенами дождя»), вокруг которых должны были формироваться дождевые капли. Через полчаса начался дождь. Бернард Воннегут по-

зднее улучшил эту технику, когда открыл, что рассеянное в воздухе йодистое серебро работает еще лучше. В наши дни уже есть новая разновидность ученых, «создатели дождя»; они вызывают быстрый ливень, чтобы прекратить дожди или предотвратить их появление, созданием облаков и выливанием из них влаги в нужном месте. В 1961 году советские астрономы использовали искусственный дождь для того, чтобы расчистить в облаках участок, через который можно было наблюдать солнечное затмение. Частично это увенчалось удачей.

Успехи в совершенствовании ракетной техники обещают еще более внушительные результаты. Захваченные у немцев ракеты «Фау-2» использовались до 1952 года, но с тех пор были созданы более технологически передовые ракетные ускорители.

4 октября 1957 года наступила новая эра. Примерно в сотую годовщину со дня рождения Циолковского Советский Союз впервые в мире вывел на орбиту спутник, созданный человеком. Первый искусственный спутник вращался вокруг Земли по эллиптической орбите: 156 миль над поверхностью (или 4100 миль над центром Земли) в перигее и 560 миль в апогее. Эллиптическая орбита похожа на «американские горки». Когда спутник движется от апогея (самой высокой точки) до перигея, он как бы скользит вниз по горке, теряя гравитационный потенциал и набирая скорость. В перигее спутник начинает забираться на гору на максимальной скорости, как роллер на «американских горках». На самой высокой точке спутник теряет свою скорость (как и роллер) и, пройдя апогей, медленно начинает двигаться вниз, до тех пор пока не настанет время снова подниматься на горку.

В перигее первый спутник находится в мезосфере, где сопротивление воздуха, хотя и слабое, все же замедляет спутник с каждым новым витком. По этой причине на каждом витке спутник терял немного высоты и медленно, но верно по спирали двигался к Земле. В конце концов он потерял столь много энергии, что гравитационное поле стягивает его в более плотные слои атмосферы, где спутник сгорает из-за трения воздуха.

Скорость, с которой спутник приближается к Земле, частично зависит от его массы, частично от его формы и частично от плотности атмосферы, через которую он проходит. Таким образом, по движению спутника можно вычислить плотность атмосферы. Спутник стал первым инструментом, который позволил определить плотность верхних слоев атмосферы. Плотность оказалась выше, чем полагали раньше, — но на высоте 150 миль, к примеру, она составляет всего одну миллионную плотности на уровне моря, а на высоте 225 миль — одну триллионную.

Тем не менее и столь разреженную атмосферу не следует сбрасывать со счетов. Даже на высоте в 1000 миль, где плотность ат-

мосферы составляет только одну квадриллионную от плотности на уровне моря, это слабое содержание воздуха в миллиард раз больше, чем содержание газов в открытом космосе. Земная атмосфера распространяется на очень большое пространство.

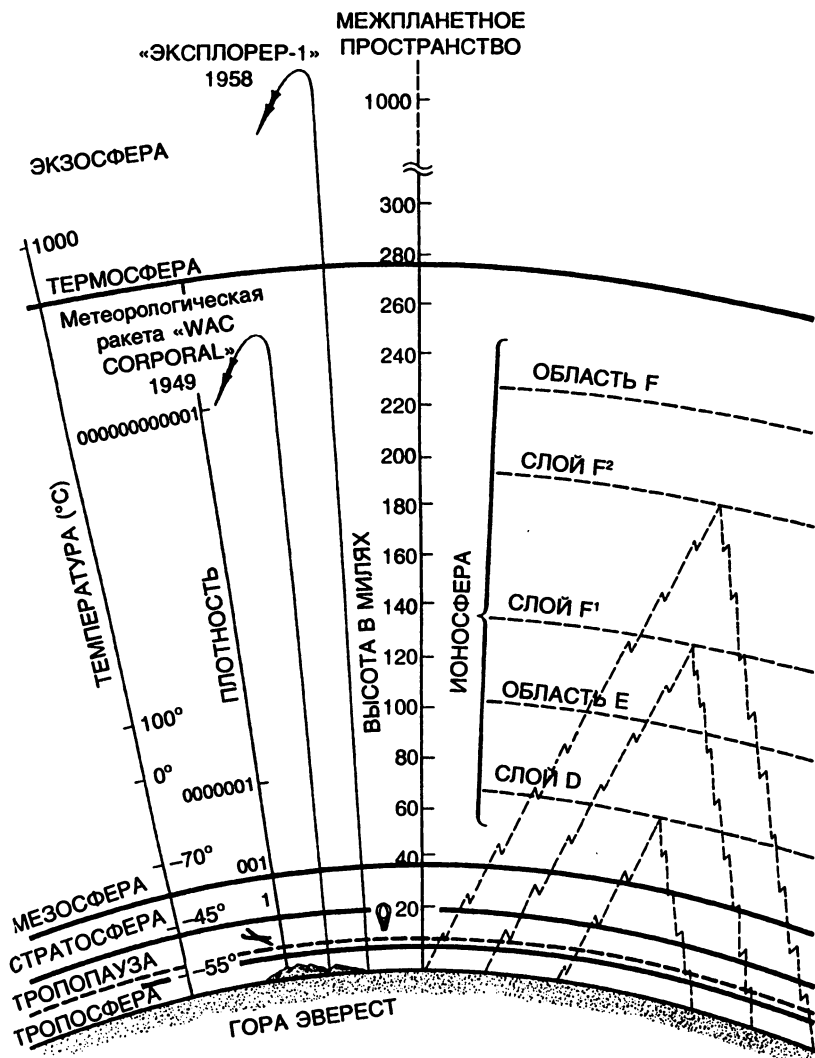
Конечно, Советский Союз не остался одинок в своих космических исследованиях. Не прошло и четырех месяцев, как к нему присоединились Соединенные Штаты, которые 30 января 1958 года запустили на орбиту свой собственный спутник, «Эксплорер-1». С тех пор обе страны подняли в небо сотни спутников, которые, вращаясь вокруг Земли, используются для самых разных целей. Верхние слои атмосферы и часть космоса в ближайших окрестностях Земли была изучена при помощи разнообразных приборов — да и сама Земля стала объектом исследований, поскольку впервые за историю человечества стало возможным увидеть нашу планету в целом (или, по крайней мере, половину ее в один момент времени) и изучить циркуляцию воздуха на всей планете.

1 апреля 1960 года Соединенные Штаты запустили первый спутник, призванный стать «погодным глазом». Затем в ноябре был запущен «Тирос-2», который за 10 недель отослал на Землю более 20 000 фотоснимков обширных районов земной поверхности и облачного покрова, включая изображения циклона и ряда облаков, которые со временем превратились в несколько торнадо. «Тирос-3», запущенный в июле 1961 года, сделал фотографии 18 тропических штормов и, в сентябре, показал набирающий мощь в Карибском море ураган Эстер за два дня до того, как его удалось обнаружить обычными методами. Спутник «Нимбус-1» с более чувствительной аппаратурой, запущенный 28 августа 1964 года, мог посылать фотографии облаков, сделанные в ночное время! К концу 1960-х годов прогнозы погоды стали обычной задачей среди прочих для запускаемых в космос спутников.

На спутниках стали использоваться и другие приборы. Еще в 1945 году английский фантаст Артур Кларк заметил, что спутники можно использовать для связи одного континента с другим и что всего три спутника позволяют обеспечить связь всех частей планеты. То, что казалось в его время необузданной фантазией, стало правдой всего через 15 лет. 12 августа 1960 года Соединенные Штаты запустили «Эхо-1» — тонкий баллон из полистирола, поверхность которого была выстлана алюминием; в космосе он распустился так, что составил в диаметре 100 футов и, таким образом, мог служить пассивным рефлектором для радиоволн.

10 июля 1962 года в Соединенных Штатах был запущен «Телстар-1». Он уже не просто отражал радиоволны — он ловил радиоволны, усиливал их и посылал на Землю. При помощи «Телстар-1» телевизионные программы впервые пересекли океан (хотя это, конечно, не улучшило их содержания). 26 июля 1963 года

был выведен на орбиту на высоте 22 300 миль над поверхностью Земли спутник «Синком-2». Его период вращения составлял ровно 24 часа, так что он оказался неподвижно висящим над Атлантическим океаном, вращаясь синхронно с вращением Земли. «Синком-3» был помещен над поверхностью Индийского океа-



Срез атмосферы. Молниеобразные линии показывают отражение радиосигналов от слоев Хевисайда—Кеннели и Эпплтона в ионосфере. Плотность воздуха уменьшается с высотой; на рисунке она выражена в процентах давления барометра к уровню у океанской поверхности

на также синхронно с вращением Земли, что позволяло ему передавать из Японии Олимпийские игры на Соединенные Штаты в октябре 1964 года.

Еще более сложный спутник связи, «Early Bird» («Ранняя птичка»), был запущен 6 апреля 1965 года; он обеспечивал 240 каналов для передачи звука и один для передачи телевизионного сигнала. (В этом году Советский Союз тоже начал запускать спутники связи.) На начало 1970-х годов предусмотрен дальнейший прогресс; Земля, похоже, находится на пороге того, чтобы стать «единым миром» — по крайней мере, в области средств связи.

Спутники также запускались для целей точного определения положения объекта на поверхности Земли. Первый такой спутник, «Транзит-1В» был запущен 13 апреля 1960 года.

Газы в воздухе

До сравнительно недавнего времени воздух считался простой, неделимой субстанцией. Только в начале XVII века фламандский химик Ян Баптист ван Гельмонт начал подозревать, что воздух состоит из нескольких химически различных газов. Он изучил газ, полученный в результате брожения фруктового сока (это был углекислый газ), и определил, что имеет дело с новой субстанцией. Ван Гельмонт был фактически первым, кто использовал термин «газ» — древнее слово, которое раньше использовалось для обозначения одной из субстанций, из которых состоит вся Вселенная. В 1756 году шотландский химик Джозеф Блэк тщательно исследовал углекислый газ и установил, что имеет дело не с воздухом, а с газом. Он также доказал, что в воздухе присутствует некоторое количество этого газа. Через 10 лет Генри Кавендиш обнаружил горючий газ, которого не было в атмосфере. В конечном счете этот газ назвали водородом. Из этих открытий был сделан вывод, что есть много различных газов.

Первым, кто понял, что воздух является смесью газов, был французский химик Антуан Лоран Лавуазье. В проведенных в 1770-х годах экспериментах он нагревал ртуть в закрытом сосуде и обнаружил, что ртуть в комбинации с воздухом образует красную пудру (окись ртути), но четыре пятых воздуха превращается в какой-то газ. При дальнейшем нагревании это количество осталось неизменным. Свеча не могла гореть в этом газе, мышь в газе гибла.

Лавуазье решил, что воздух состоит из двух газов. Одна пятая, что вступает в реакцию со ртутью в проведенном эксперименте, является той частью, которая обеспечивает жизнь и горение. Ее он назвал кислородом. Остальной части он дал название азот, что в переводе с греческого означает «нет жизни». Оба газа были уже открыты в предыдущее десятилетие. Азот был открыт в 1772 году шот-

ландским физиком Даниелем Резерфордом, а кислород в 1774 году английским священником-унитарием Джозефом Пристли.

К середине XIX столетия французский химик Анри Виктор Рейо проанализировал пробы воздуха из разных частей мира и обнаружил, что состав воздуха одинаков везде. Содержание кислорода составляет 20,9 процента, а все остальное (за исключением небольшого содержания углекислого газа) — азот.

Азот — относительно инертный газ; это значит, что он весьма неохотно вступает в реакции с другими субстанциями. Тем не менее при определенных условиях его можно заставить вступать в реакции — к примеру, нагреванием с таким металлом, как магний, от чего получается твердый нитрид магния. Через несколько лет после открытия Лавуазье Генри Кавендиш попытался полностью связать азот с кислородом при помощи электрической искры. Ему это не удалось. Что бы он ни делал, все равно оставались небольшие пузырьки газа, составляющие не менее 1 процента от первоначального количества. Кавендиш решил, что это может быть еще один газ, более инертный, чем азот. Но не все химики имели талант Кавендиша, и загадка долгое время оставалась нерешенной, так что природа этого остатка воздуха была разгадана только в следующем столетии.

В 1882 году английский физик Джон Уильям Стретт, лорд Рэлей, сравнил плотность полученного из воздуха азота с плотностью азота, полученного из химикалий, и с изумлением обнаружил, что азот из воздуха значительно тяжелее. Могло быть, чтобы азот из воздуха содержал некоторое количество еще одного, более тяжелого газа? Шотландский химик сэр Уильям Рамсей помог лорду Рэлю глубже разобраться в этом вопросе. Они решили прибегнуть к помощи спектроскопа. Когда было нагрето небольшое количество газа, оставшегося после извлечения из него азота, то при изучении спектра был обнаружен новый набор ярких линий — линий, которые принадлежали неизвестному элементу. Своему только что открытому, очень инертному элементу они дали название аргон (от греческого слова, обозначающего «инертный»).

Аргон составлял примерно весь оставшийся объем неизвестной части атмосферного воздуха — примерно 1 процент, — но не полностью. В атмосфере были следы и других составляющих, каждая из которых занимала около миллионной части объема. В 1890-х годах Рамсей открыл еще четыре инертных газа: неон («новый»), криптон («спрятанный»), ксенон («странник») и гелий, который был обнаружен за 30 лет до этого на Солнце. В последние десятилетия инфракрасный спектроскоп выявил еще три составляющих: закись азота («веселящий газ»), чье происхождение на Земле неизвестно, метан — продукт распада органической материи — и окись углерода. Метан испускается собаками; примерно 45 миллионов тонн этого же газа каждый год

выпускается в атмосферу крупным рогатым скотом и другими животными в результате их жизнедеятельности. Окись углерода, по всей видимости, производится человеком, это результат неполного сгорания дерева, угля, бензина и т. д.

Но все это, конечно, относится к низшим слоям атмосферы. А что происходит в стратосфере? Тесейран де Бор предположил, что гелий и водород могут в каких-то количествах существовать и там, как бы плавая на более тяжелых газах нижних слоев. Но он ошибся. В середине 1930-х годов русские исследователи на воздушных шарах доставили на Землю образцы воздуха из верхних слоев атмосферы, и оказалось, что эти слои состоят из кислорода и азота в той же пропорции, один к четырем, как и воздух в тропосфере.

Но были некоторые основания полагать, что еще выше, в самых верхних слоях атмосферы, существуют какие-то неизвестные газы, и одним из признаков этого было так называемое «свечение атмосферы». Это очень слабое свечение всего ночного неба, даже в отсутствие Луны. Это свечение превосходит по своей силе свечение звезд, но так рассеянно, что определить его можно только чувствительными к свету астрономическими приборами.

На протяжении многих лет этот источник света был загадкой. В 1928 году астроному В.М. Слайферу удалось определить в «свечении атмосферы» какие-то таинственные спектральные линии, которые были обнаружены еще в 1864 году в туманности на небе Уильямом Хаггинсом, — тогда было высказано предположение, что этот спектр принадлежит какому-то неизвестному элементу, который носит название небулиум. В 1927 году, проведя эксперименты в лаборатории, американский астроном Ира Спрагве Боуэн показал, что линии появляются от «атомарного кислорода», то есть кислорода, который присутствует не в обычном виде из двухатомных молекул, а в виде одиночных атомов. Как атомарный кислород, так и атомарный азот в верхних слоях атмосферы являются результатом энергетического излучения от Солнца, которое разбивает молекулы на отдельные атомы. Это предположение впервые выдвинул в 1931 году Сидни Чепмен. К счастью, радиационное излучение с высокой энергией поглощается или ослабляется до того, как оно доходит до более низких слоев атмосферы.

«Свечение атмосферы», как утверждал Чепмен, возникает из-за происходящей ночью рекомбинации атомов, которые разделяются солнечной энергией в дневное время. При рекомбинации атомы отдают некоторую часть энергии, которая поглощается при разделении, так что «свечение атмосферы» является чем-то вроде задержанного по времени и очень слабого возвращения солнечного света в новой, особой форме. Установленные на ра-

кетах спектроскопы зафиксировали зеленые линии атомарного кислорода, причем наиболее интенсивно это выражено на высоте в 60 миль. В виде атомов находится меньшая часть азота, поскольку молекулы азота держатся вместе более крепко, чем молекулы кислорода; тем не менее красный свет от атомного азота на высоте 95 миль довольно силен.

Слайфер также нашел в «свечении атмосферы» линии, которые подозрительно напоминали хорошо известные линии натрия. Присутствие натрия казалось столь невероятным, что исследования были прекращены. Как натрий может оказаться в верхних слоях атмосферы? Это не газ, как-никак, а очень активный металл, который в свободном состоянии не встречается на Земле. Он всегда находится в комбинации с каким-нибудь элементом, чаще всего с хлоридом натрия (известным всем как поваренная соль). Но в 1938 году французские ученые установили, что линии и в самом деле идентичны линиям натрия. Как бы странно это ни казалось, но в верхних слоях атмосферы действительно присутствует натрий. При помощи ракет было установлено точно: действительно, в атмосфере есть натрий, причем наибольшая его концентрация находится на высоте 55 миль. Как натрий там оказался, так и осталось загадкой; возможно, он мог образоваться от соленых брызг океана или же от сгорающих при входе в атмосферу метеоров. Еще более удивительным явилось обнаружение в 1958 году факта, что литий — менее распространенный, чем натрий, элемент — также вносит свой вклад в «свечение атмосферы».

В 1956 году группа американских ученых под руководством Мюррея Зеликоффа смогла воспроизвести искусственное «свечение атмосферы». Была запущена ракета, которая на высоте 60 миль выпустила облако газа — окись азота. Это ускорило рекомбинацию атомов кислорода в верхних слоях атмосферы. Наблюдатели на Земле легко могли видеть вызванное этим яркое свечение. Аналогичный эксперимент с парами натрия также был успешным — он привел к появлению ясно видимого желтого свечения. Когда советские ученые послали «Луну-3» к Луне в октябре 1959 года, то были выпущены пары натрия в качестве визуального сигнала, что ракета вышла на орбиту.

В более низких слоях атмосферы кислород в виде атомов не наблюдается, но энергия солнечного излучения еще достаточно сильна, чтобы вызвать появление трехатомной разновидности кислорода — озона. Самая большая концентрация озона наблюдается на высоте 15 миль. Но даже здесь, в *озоносфере* (впервые обнаруженной в 1913 году французским физиком Шарлем Фабри), озон составляет только одну четырехмиллионную часть воздуха. Тем не менее этого достаточно, чтобы создать щит, который не дает пройти к Земле губительному ультрафиолетовому излучению. Под воздействием ультрафиолета озон превращает-

ся в обычные двухатомные молекулы кислорода. Таким образом потребляется энергия ультрафиолетового излучения — вот почему озон может быть таким щитом. Именно поглощение ультрафиолета кислородом повышает температуру мезосферы так, что она становится выше температуры стратосферы. Около поверхности Земли концентрация озона очень низка, хотя и может подняться достаточно для того, чтобы началось формирование такого раздражающего компонента, как смог.

Дальнейшие эксперименты с использованием космической техники показали, что предположения Тесейрана де Бора относительно слоев гелия и водорода в самых верхних слоях атмосферы имеют под собой некоторое обоснование — просто эти элементы находятся на другой высоте. На высотах от 200 до 600 миль, где атмосфера разрежена почти до вакуума, есть слой гелия, в наши дни называемый *гелиосферой*. Существование этого слоя было впервые предсказано в 1961 году бельгийским физиком Марселем Николе по трению, которое испытывал спутник «Эхо-1». Предположение было подтверждено анализами тонкого слоя газа, окружавшего «Эксплорер-17», который был запущен в космос 2 апреля 1963 года.

Выше гелиосферы находится даже более тонкий слой водорода, *протоносфера*, которая может простираться вверх примерно на 40 000 миль, после чего плотность медленно убывает до плотности межпланетного пространства.

Высокие температуры и энергетическое излучение способны на много большее, чем лишь разделять атомы или вынуждать их вступать в новые комбинации. Они могут отцеплять электроны от атомов и ионизировать атомы. То, что остается от атомов, называется *ионом* и отличается от обычных атомов тем, что имеет электрический заряд. Слово «ион» происходит от греческого слова «путешественник». Данное наименование присвоено иону потому, что при прохождении электрического тока через содержащий ионы раствор положительно заряженные ионы идут в одном направлении, а отрицательные — в другом.

Молодой шведский ученый-химик Сванте Август Аррениус первым высказал мысль, что ионы — это заряженные атомы, поскольку это было единственным объяснением поведения некоторых растворов, которые проводили электрический ток. Предположение Аррениуса, сформулированное им в виде тезисов, которые он предоставил на степень доктора философии в 1884 году, было столь революционным, что экзаменаторы с большим трудом признали экзамен сданным. Заряженные частицы внутри атомов еще не были известны, и концепция электрически заряженных атомов казалась смехотворной. Аррениус получил свою степень, но с минимально возможной для этого оценкой.

Когда в конце 1890-х был открыт электрон, теория Аррениуса внезапно оказалась очень актуальной. Он получил в 1903 году Нобелевскую премию за те же тезисы, за которые 19 годами ранее мог получить степень доктора (это звучит неправдоподобно, как в голливудском фильме, но история науки содержит множество эпизодов, которые не могли бы прийти в голову никому в Голливуде).

Открытие ионов в атмосфере было невозможным до того, как Гульельмо Маркони начал свои эксперименты с беспроводной связью. Когда 12 декабря 1901 года он послал сигнал с Корнуолла на Ньюфаундленд, на 2100 миль через Атлантический океан, научный мир пришел в изумление. Радиоволны, как считалось, распространяются только по прямой. Как они смогли обогнуть округлость Земли и дойти до Ньюфаундленда?

Английский физик Оливер Хевисайд и американский инженер-электрик Артур Эдвин Кеннели выдвинули предположение, что радиоволны отразились от неба находящимся высоко в атмосфере слоем заряженных частиц. Слой Хевисайда—Кеннели, как он назывался с этого времени, был в 1920-х годах в конце концов обнаружен. Английский физик Эдвард Виктор Эпплтон определил его по удивительному ослаблению радиосигналов при радиопередаче. Он решил, что ослабление — это результат интерференции сигнала и его отражения. Сигнал идет прямо от передатчика на приемник, его же отражение проделывает круговой путь из-за отражения в верхних слоях атмосферы. Из-за дополнительного времени распространения вторая волна приходит со сдвигом по фазе относительно первой, так что волны частично гасят друг друга, отсюда и уменьшение сигнала.

После этого было довольно легко определить высоту расположения отражающего слоя. Все, что требовалось, — это послать сигналы с разными длинами волн и определить, на какой длине волны затухание максимально. Из этой длины волны и известного значения скорости распространения радиоволн Эпплтон вычислил разницу в расстояниях, которые прошли две волны. Таким образом, Эпплтон вычислил, что слой Хевисайда—Кеннели располагается примерно на высоте 65 миль.

Ослабление радиосигнала обычно происходит ночью. Эпплтон обнаружил, что незадолго до наступления заката радиоволны перестают отражаться от слоя Хевисайда—Кеннели, но отражаются от еще более высоких слоев (в наши дни иногда называемых *слоем Эпплтона*), которые начинаются на высоте 140 миль.

За все свои исследования в 1947 году Эпплтон получил Нобелевскую премию по физике. Именно он определил важную область в атмосфере, получившую название *ионосфера*, — это слово было введено в 1930 году шотландским физиком Робертом Александром Уотсоном-Ваттом. В ионосфере содержатся слои, получившие название мезосфера и термосфера; в наши дни ионосфе-

ру делят еще на несколько слоев. Выше стратосферы на протяжении 65 миль или около того тянется область D. Над ней располагается слой Хевисайда—Кеннели, называемый слоем D. Над слоем D, до высоты в 140 миль, идет область E — промежуточная область с относительно малым содержанием ионов. За ней идет слой Эпплтона со 140 миль и выше — слой F_1 , с 200 миль — слой F_2 . Слой F_1 богаче всего ионами, слой F_2 существенно насыщен ионами только в дневное время. Над этими слоями располагается область F.

Эти слои отражают и поглощают только длинные радиоволны, используемые в обычной радиосвязи. Более короткие радиоволны — к примеру, используемые в телевидении — по большей части проходят сквозь ионосферу не отражаясь. Вот почему передача телевизионных программ имеет небольшую дальность, но это ограничение убирается использованием приемопередающих спутников, из которых самым заметным является запущенный в 1965 году спутник «Early Bird», который позволяет передавать передачи в прямом эфире через океаны и континенты. К счастью, радиоволны из космоса (к примеру, от излучающих радиосигналы звезд) также проходят через ионосферу; если бы они не проходили, радиоастрономия была бы невозможна.

Ионосфера в наибольшей мере сказывается в конце дня, после продолжающегося все дневное время воздействия солнечного излучения. На закате действие ионосферы ослабляется из-за того, что многие ионы и электроны рекомбинируют. Бури на Солнце, увеличивая поток частиц и посылаемого на Землю излучения с высокой энергией, приводят к увеличению ионизированных слоев и их интенсификации. Области над ионосферой также начинают светиться. Во время этих электрических бурь передача радиоволн на большие расстояния начинает прерываться и иногда полностью прерывается.

Магниты

Магнит получил свое название от древнегреческого города Магнезия, близ которого был впервые найден магнитный железняк. Магнитный железняк представляет собой окись железа, имеющую природный магнетизм. Традиция говорит, что первым философом, который описал магнитный железняк, был Фалес Милетский; это было примерно в 550 году до нашей эры.

Магниты стали чем-то большим, чем забавной диковинкой, когда было обнаружено, что стальная игла при поглаживании о железняк намагничивается и что, если игле дать возможность вращаться в горизонтальной плоскости, она в конце концов установится вдоль линии «север—юг». Такая игла, конечно, стала огромным подспорьем для моряков, фактически она стала про-

сто незаменимой при навигации, хотя полинезийцы как-то ухитрились пересечь Тихий океан без компаса.

До сих пор неизвестно, кто первым установил намагниченную иглу на точку вращения и поставил в коробку, чтобы получился компас. Полагают, что впервые сделали это китайцы, после чего это изобретение переняли у них арабы, а те, в свою очередь, передали его европейцам. Но трудно сказать, так ли это было на самом деле и не является ли это легендой. В любом случае в XII веке компасом уже активно пользовались в Европе, и в 1269 году его подробно описал французский ученый, известный под латинизированным именем Пьер Перегрин. Перегрин назвал тот конец, который указывает на север, северным полюсом, а противоположный — южным полюсом.

Естественно, люди задавались вопросом, почему игла показывает на полюса. Поскольку было известно, что магнит притягивает другие магниты, некоторые полагали, что далеко на севере находится огромная магнитная гора и игла показывает именно на эту гору. Другие же подходили к объяснению с романтической точки зрения: они полагали, что магниты имеют душу и что-то вроде жизни.

Научное исследование магнитов началось с Уильяма Гильберта, придворного физика королевы Елизаветы I. Именно Гильберт открыл, что Земля сама по себе является гигантским магнитом. Он установил магнитную иглу таким образом, что она могла свободно вращаться в вертикальном направлении («глубокая игла») и ее северный конец мог наклоняться к Земле («опускание магнита»). Используя сферический кусок магнитного железа в качестве модели Земли, он обнаружил, что наклон вниз северного конца происходит только у верхнего, северного полушария его модели. Гильберт опубликовал свои наблюдения в 1600 году в классической книге под названием «De Magnete» («Магнит»).

Через три с половиной столетия, которые прошли после работы Гильберта, никто так и не объяснил достаточно убедительно магнетизм Земли. На протяжении долгого времени ученые считали, что Земля в своей глубине имеет огромный магнит. Хотя Земля, как обнаружилось, и в самом деле имеет железное ядро, в наши дни ясно, что это ядро не может быть магнитом, поскольку железо при нагревании теряет свои ярко выраженные магнитные свойства (их еще называют *ферромагнетизм*, приставка «ферро» происходит от латинского слова, обозначающего железо) при 760 °C, а температура земной коры должна быть где-то около 1000 °C.

Температура, при которой вещество теряет свой магнетизм, называется точкой Кюри, поскольку она была впервые обнаружена Пьером Кюри в 1895 году. Кобальт и никель, которые во многих отношениях напоминают железо, также являются ферромагнетиками. Температура Кюри для никеля равняется 356 °C, для

кобальта — 1075 °С. При низких температурах становятся ферромагнитными и некоторые другие материалы. К примеру, при 188 °С становится ферромагнитным диспрозий.

В целом магнетизм является свойством самого атома, но в большинстве материалов микроскопические магнетики направлены в разных направлениях, так что суммарный эффект равен нулю. Но даже при этом некоторые материалы проявляют слабые магнитные свойства. Это явление называют парамагнетизмом. Сила магнетизма выражается в так называемой «магнитной проницаемости». Проницаемость вакуума составляет 1,00, а проницаемость парамагнетиков — между 1,00 и 1,01.

У ферромагнетиков намного более высокая магнитная проницаемость. Никель имеет проницаемость 40, кобальт — 55, а проницаемость железа выражается в тысячах. В таких веществах в 1907 году французским физиком Пьером Вейссом было предположено существование *доменов*. Это очень маленькие области от 0,001 до 0,1 сантиметра в диаметре (они и в самом деле позднее были обнаружены), в которых атомы-магниты имеют одно и то же направление и поэтому усиливают друг друга, так что в самом домене присутствует сильное преобладающее поле. В обыкновенном ненамагниченном железе домены ориентированы в разные стороны, так что гасят влияние друг друга. Когда домены выстраиваются в линию под действием других магнитов, железо намагничивается. Переориентация доменов при намагничивании вызывает щелканье и шипение, которые могут быть услышаны при соответствующем усилении. Этот шум называют *эффект Баркгаузена* в честь его первооткрывателя, немецкого физика Генриха Баркгаузена.

В *антиферромагнитных веществах*, таких, как марганец, силовые поля доменов также направлены по одной линии, но в противоположных направлениях, так что большая часть магнетизма пропадает. Выше определенной температуры вещества теряют антиферромагнетизм и становятся парамагнитными.

Если железное ядро Земли само по себе не является постоянным магнитом, поскольку нагрето выше точки Кюри, тогда должно быть еще какое-то объяснение способности Земли воздействовать на магнит компаса. Это стало возможно объяснить на основе работы английского ученого Майкла Фарадея, который установил связь между магнетизмом и электричеством.

В 1820-х годах Фарадей произвел ряд опытов, который начался с эксперимента, впервые описанного еще Пьером Перегрином (и который до сих пор удивляет изучающих физику студентов). Над магнитными полюсами помещают листок с железными опилками, после чего по листку снизу начинают осторожно постукивать пальцами. При этом опилки начинают понемногу выстраиваться по дугам от Северного полюса к Южному. Фарадей заключил, что эти линии представляют собой реально суще-

ствующих магнитные силовые линии, которые и формируют магнитное поле.

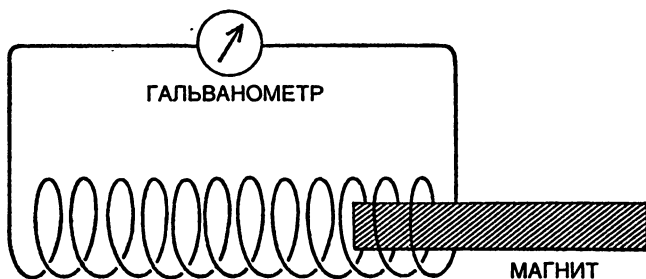
Фарадей, которого привлекло к изучению магнетизма наблюдение в 1820 году датского физика Ханса Кристиана Эрстеда, что протекающий в проводе электрический ток отклоняет стрелку находящегося рядом компаса, предположил, что магнитные силовые линии должны быть и вокруг провода.

Этому предположению способствовали и проводившиеся немедленно после опыта Эрстеда французским физиком Андре Мари Ампером эксперименты с проводами, по которым пропусклся ток. Ампер обнаружил, что если по двум параллельным проводам пропустить ток в одном направлении, то они будут притягивать друг друга; если же ток пустить в противоположные стороны, провода будут друг друга отталкивать. Это весьма напоминало картину, когда при приближении двух магнитов друг к другу одноименные полюса отталкивались, а разноименные притягивались. Продолжая эксперименты, Ампер обнаружил, что при прохождении электрического тока через катушку она ведет себя подобно обычному магниту. В честь его работ в 1881 году единица интенсивности электрического тока была официально названа *ампер*.

Но если все это так, подумал Фарадей (который обладал редкой в истории науки интуицией), и если электричество способно вызвать в катушке магнитное поле, точно такое же, как и от обычного магнита, то не может ли быть верным обратное допущение? Может ли магнит быть причиной электрического тока, точно такого же, как и от химических батарей?

В 1831 году Фарадей произвел эксперимент, который перевернул весь ход человеческой истории. Он накрутил катушку из провода вокруг одного сегмента железного кольца, а вторую катушку — вокруг другого сегмента. Затем он подключил первую катушку к батарее. Он считал, что, если пропустить ток через первую катушку, это вызовет появление силовых магнитных линий через первую катушку, которые будут концентрироваться в железном кольце, и это, в свою очередь, вызовет магнетизм, который станет причиной для появления тока во второй катушке. Чтобы определить этот ток, он подсоединил вторую катушку к гальванометру — инструменту для измерения электрических токов, который был изобретен немецким физиком Иоганном Салома Кристофом Швейгером в 1820 году.

Результат получился не таким, как ожидал Фарадей. Ток в первой катушке не привел к появлению тока во второй. Но Фарадей заметил, что в момент, когда он повернул катушку, игла гальванометра на короткое время отклонилась. Он повернул катушку еще раз, но уже в другом направлении, а затем выключил ток. Он сразу понял, что ток вызывается изменением числа магнитных линий вокруг проводов, а не током самим по себе. Когда



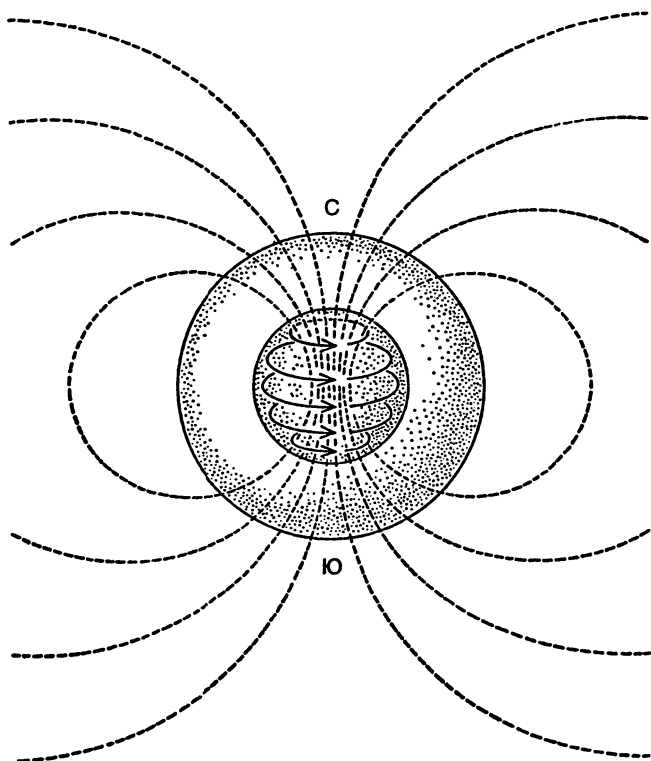
Эксперимент Фарадея по индукции электричества. Когда магнит вдвигается в катушку с проводом или извлекается из нее, изменение магнитных силовых линий вокруг проводов вызывает в катушке электрический ток

в первой катушке начал течь ток, он вызывал магнитное поле, которое, распространяясь ко второй катушке, вызывало в ней кратковременный электрический ток. И наоборот, когда ток от батареи выключался, уменьшение числа силовых магнитных линий снова приводило к изменениям в проводе во второй катушке, что вызывало кратковременное возрастание электричества в направлении, противоположном первому.

Таким образом, Фарадей открыл принцип электрической индукции и создал первый трансформатор. Он смог найти более простой способ демонстрации полученного явления: просто вставлял постоянный магнит в катушку с проводом или вынимал из нее. Хотя при этом не использовался какой-либо источник электричества, появлялся ток, поскольку магнитные силовые линии, которые доходили до проводов, изменялись.

Открытия Фарадея не только непосредственно предшествовали появлению динамо-машины для генерации электрического тока; они также заложили основание для электромагнитной теории Джеймса Клерка Максвелла, в которой были связаны свет и другие формы излучения (к примеру, радиоволны), в единое семейство *электромагнитных волн*.

Теперь, установив взаимозависимость магнетизма и электричества, мы подошли совсем близко к объяснению магнетизма Земли. Стрелка компаса направлена по силовым магнитным линиям, которые идут от находящегося у берегов Северной Канады северного магнитного полюса к расположенному у края Антарктиды южному магнитному полюсу; каждый из магнитных полюсов находится примерно на 15 градусах широты от географических полюсов. (Магнитное поле Земли было обнаружено ракетами с магнитометрами на больших высотах.) Возникло предположение, что земной магнетизм, по всей видимости, объясняется электрическим током в глубинах Земли.



Теория Эльзессера по поводу возникновения магнитного поля Земли. Движение материи в расплавленном никелево-железном ядре вызывает электрические токи, которые, в свою очередь, генерируют магнитные силовые линии. Штриховыми линиями показано магнитное поле Земли

Физик Уолтер Морис Эльзессер предположил, что вращение Земли приводит к медленным завихрениям в расплавленном железном ядре, направленным с запада на восток. Эти вихри вызывают электрический ток, который также движется с запада на восток. Точно так же, как в катушке Фарадея ток получается от изменения проходящих через нее силовых магнитных линий, так идвигающиеся по кругам электрические токи вызывают магнетизм в земной коре. Получается что-то вроде магнита под поверхностью, чьи полюса находятся на севере и юге. Этот магнит и создает общее магнитное поле Земли, ориентированное приблизительно вдоль оси вращения, так что магнитные полюса располагаются около Южного и Северного географических полюсов.

Солнце также имеет общее магнитное поле, которое в 2—3 раза интенсивнее земного, а также локальные магнитные поля, по всей видимости связанные с солнечными пятнами; эти локальные

магнитные поля в тысячи раз интенсивнее. Изучение этих полей (которое можно производить благодаря тому, что сильный магнетизм воздействует на длину волны излучаемого света) позволяет высказать предположение, что внутри Солнца есть круговые потоки электрических зарядов.

Надо сказать, что с солнечными пятнами связано множество удивительных феноменов, которые могут быть объяснены, лишь когда будет объяснена причина появления магнитных полей астрономического масштаба. К примеру, число пятен на поверхности Солнца увеличивается и уменьшается с периодичностью одиннадцать с половиной лет. Это впервые было установлено в 1843 году немецким астрономом Генрихом Самуэлем Швабе, который наблюдал за поверхностью Солнца почти ежедневно на протяжении 17 лет. Более того, солнечные пятна появлялись только на определенных широтах, и эти широты на протяжении цикла менялись. Солнечные пятна показывают определенную магнитную ориентацию, которая меняется на противоположную с каждым новым циклом. Почему это происходит, неизвестно до сих пор.

Так что в своих поисках причин появления магнитного поля Земли мы не можем обратиться к примеру Солнца за ответом. Решение надо искать на Земле. К примеру, следует задаться вопросом: почему магнитные полюса не совпадают с географическими? Северный магнитный полюс располагается у берегов Северной Канады примерно в 1000 миль от Северного полюса. Аналогично южный магнитный полюс располагается около берегов Антарктиды западнее моря Росса, примерно в 1000 миль от Южного полюса. Более того, магнитные полюса не находятся на земном шаре строго против друг друга. Соединяющая их прямая линия (*магнитная ось*) не проходит через центр Земли.

Кроме того, отклонение магнитной стрелки от «строго северного» направления (то есть от направления на Северный полюс) изменяется довольно нерегулярно при перемещении на запад или восток. Является фактом, что при первом путешествии Колумба мореплаватель обнаружил, что стрелка компаса несколько сдвигается. Колумб скрыл это от спутников, чтобы те не испугались и не заставили его повернуть назад.

Это одна из причин, почему использование магнитного компаса для определения направления не является совершенным. В 1911 году американский изобретатель Элмер Эмброуз Сперри использовал свойство сильно раскрученного колеса с большой массой на краях (гироскоп, впервые исследованный Фуко, который использовал гироскоп для демонстрации вращения Земли) сопротивляться изменениям в плоскости вращения. Такое устройство могло служить гироскопическим компасом, который сохранял фиксированное направление и позволял бы сохранять направление в кораблях и ракетах.

Но хотя магнитный компас и несовершенен, он все же оказался достаточно хорош, чтобы служить человечеству на протяжении нескольких столетий. Некоторое отклонение стрелки компаса от точного направления часто роли не играло. Через столетие после Колумба, в 1581 году, англичанин Роберт Норман создал первую карту, на которой было указано истинное направление, в котором показывает магнитная стрелка (магнитное отклонение) в различных частях мира. Линии, соединяющие эти точки на планете и показывающие одинаковое направление стрелки (изогонические линии), по дугам протянулись от северного магнитного поля к южному.

К сожалению, такие карты должны претерпевать периодические изменения, поскольку даже на одном участке со временем направление магнитных линий изменяется. К примеру, в районе Лондона направление сменилось за два столетия на 32 градуса дуги — оно было в 1600 году 8 градусов к востоку от направления на Северный географический полюс и медленно меняло свое положение, пока не стало составлять 24 градуса к западу от направления на Северный географический полюс в 1800 году. После этого направление двинулось в обратную сторону и в 1950 году составляло только 8 градусов западнее направления на север.

Направление магнитной стрелки к Земле также медленно меняется со временем для любого данного участка поверхности, так что карты с линиями постоянного наклона (с изоклинами) также следует постоянно пересматривать. Кроме того, интенсивность магнитного поля Земли возрастает с широтой, и около магнитных полюсов она в три раза больше, чем в экваториальных районах. Эта интенсивность также постоянно изменяется, так что карты, показывающие «изодинамические линии», также следует периодически изменять.

Как и все прочее относительно магнитного поля, общая интенсивность поля также меняется. К настоящему времени эта интенсивность находится на низком уровне. С 1670 года поле потеряло 15 процентов своей силы; если это будет продолжаться, поле к 4000 году вообще исчезнет. Что тогда может произойти? Не является ли это уменьшение признаком того, что Земля готова поменять местами расположение полюсов так, чтобы Южный полюс был в Арктике, а Северный в Антарктиде? Другими словами, происходит ли процесс, при котором поле должно уменьшиться до нуля, усилиться, ослабиться, поменять полюса и т. д.?

Изучение вулканических пород говорит, что такое действительно происходит. Когда лава остывает, кристаллы формируются в соответствии с направлением магнитного поля. В 1906 году французский физик Бернар Брюн заметил, что некоторые куски породы намагничены в направлении, противоположном теперешнему расположению магнитного поля. В то время к его наблюдению отнеслись без интереса, но в наше время им не пренебре-

гают. Свидетельства горных пород говорят, что магнитное поле Земли не только меняло полюса — это происходило много раз: по крайней мере четыре раза за последние 4 миллиона лет, через неравномерные промежутки.

Наиболее интересные свидетельства этому можно найти на океанском дне. Если расплавленная лава в самом деле прорывается на поверхность через глобальный рифт и расползается через него, двигаясь на восток и запад от рифта, то, исследуя образцы на разном удалении от рифта, мы можем заглянуть в разные промежутки времени. Изучая направление намагничивания, можно и в самом деле найти повороты в намагничивании, на разном удалении от рифта, с интервалом времени от 50 000 до 20 миллионов лет. Единственное рациональное объяснение этих изменений может заключаться только в том, что морское дно *действительно* формируется распространением материала из рифта, и в том, что изменение магнитных полюсов *действительно* имело место.

Однако факт изменения полюсов просто определить, но не просто объяснить.

Вдобавок к долговременному смещению магнитных полюсов происходят небольшие изменения на протяжении дня. По всей видимости, это связано с Солнцем. Кроме того, существуют так называемые «дни магнитных возмущений», когда магнитная стрелка начинает менять направление с удивительной живостью. В этом случае говорят, что на Земле происходит *магнитная буря*. Магнитные бури аналогичны электрическим бурям и обычно сопровождаются увеличением интенсивности зарниц — это было замечено еще в 1759 году английским физиком Джоном Кантоном.

Северное сияние (этот термин был введен в 1621 году французским философом Пьером Гассенди) очень живописное зрелище разноцветных переливов света — вид во всем его великолепии кажется просто неземным. Его аналог в Антарктиде называется *южным сиянием*. В 1741 году шведский астроном Андерс Цельсий заметил связь полярного сияния с магнитным полем Земли. Было похоже на то, что потоки света идут по силовым магнитным линиям Земли и, концентрируясь, становятся видимыми в тех районах, где они подходят друг к другу максимально близко, то есть в районе магнитных полюсов. Во время магнитных бурь северное сияние можно наблюдать довольно далеко к югу, даже в Бостоне и Нью-Йорке.

Причину появления сияния объяснить нетрудно. Как только было обнаружено существование ионосферы, стало ясно, что что-то (по всей видимости, какая-то часть излучения Солнца) дает энергию атомам в верхних слоях атмосферы и превращает их в электрически заряженные ионы. По ночам ионы теряют свой заряд и свою энергию, и именно это и можно наблюдать в виде полярного сияния. Это сияние — что-то вроде особого небесного свечения, которое следует за силовыми магнитными линиями

и концентрируется около магнитных полюсов потому, что именно там находятся электрически заряженные ионы. (В рассмотренное же ранее небесное свечение вовлекаются незаряженные атомы, и потому оно не испытывает влияния магнитного поля.)

Ну а что можно сказать о днях магнитных возмущений и магнитных бурях? И здесь самой главной причиной, по всей видимости, является Солнце.

Солнечные пятна могут влиять на удаленную от них на 93 миллиона миль Землю — этот факт был полнейшей загадкой до появления спектрогелиографа, изобретенного астрономом Джорджем Эллери Хейлом. Этот прибор позволяет фотографировать Солнце только в одном свете — к примеру, в красном свете углерода. Кроме того, прибор дает возможность видеть передвижения или изменения, происходящие на поверхности Солнца. Это дало возможность сделать хорошие фотографии солнечных вспышек — огромных выбросов горящего водорода. Их впервые наблюдали во время солнечного затмения в 1842 году. Это затмение стало первым систематически и научно исследованным явлением такого типа.

До изобретения спектрогелиографа можно было наблюдать вспышки только на самом краю Солнца. Спектрогелиограф же позволил видеть вспышки даже в центре солнечного диска: в свете водорода эти насыщенные водородом вспышки выглядят светлыми пятнами на более темном фоне диска. Оказалось, что магнитные бури следуют за магнитными вспышками только в том случае, когда вспышка направлена к Земле. На основании этого был сделан вывод, что магнитные бури — результат выброса заряженных частиц, которые преодолевают 93 миллиона миль космического пространства до Земли. Надо сказать, что такое предположение еще в 1896 году сделал норвежский физик Олаф Кристиан Биркеланд.

Нужно сказать, есть множество свидетельств, что, откуда бы частицы ни пришли, Земля буквально окутана их облаком, которое тянется на большое расстояние в космосе. Было обнаружено, что производимые молниями радиоволны идут вдоль силовых магнитных линий Земли на большие расстояния. (Эти волны, называемые свистками из-за того, что в радиоприемниках слышны как нерегулярные свистящие шумы, случайно обнаружил немецкий физик Генрих Баркгаузен во время Первой мировой войны.) Радиоволны не могли бы двигаться вдоль магнитных силовых линий, если бы не существовало заряженных частиц.

Вместе с тем похоже на то, что заряженные частицы появляются у поверхности Земли не только благодаря вспышкам на Солнце. В 1931 году, когда Сидни Чепмен изучал солнечную корону, его удивила ее протяженность. То, что мы можем наблюдать во время солнечного затмения, — только ее внутренняя часть. Чепмен решил, что измеряемые им в окрестностях Земли

частицы — это часть солнечной короны. Тогда это должно значить, что Земля в некотором смысле вращается вокруг Солнца в верхних слоях очень широко раскинувшейся атмосферы этого светила. Чепмен высказал предположение, что корона рождается на поверхности Солнца и уходит далеко в космос. Заряженные частицы, которые распространяются от Солнца во всех направлениях, при прохождении около Земли влияют на ее магнитное поле.

В 1950-х годах это мнение утвердилось благодаря работам немецкого астрофизика Людвиг Франца Бирмана. На протяжении 50 лет считалось, что хвосты комет, которые всегда были направлены в противоположную от Солнца сторону, приобретают свою форму под воздействием солнечного света. Такое воздействие действительно существует, но Бирман показал, что его недостаточно для появления хвостов комет. Требовалось что-то более сильное, и это «что-то» не могло быть ничем иным, кроме заряженных частиц. Американский физик Юджин Норман Паркер привел свои аргументы в пользу постоянного потока частиц, добавив, что вспышки на Солнце вызывают дополнительный поток, и ввел в 1958 году выражение «солнечный ветер». Существование этого солнечного ветра в конце концов подтвердили советские космические аппараты «Луна-1» и «Луна-2», которые прошли около Луны в 1959-м и 1960 годах, а также американский межпланетный зонд «Маринер-2», который в 1962 году прошел около Венеры.

Солнечный ветер не является каким-то локальным феноменом. Есть основания полагать, что даже в пределах орбиты Сатурна он достаточно интенсивен, чтобы быть обнаруженным. Около Земли скорость частиц солнечного ветра меняется от 350 до 700 километров в секунду. Существование этих частиц означает потерю Солнцем миллионов тонн материи в секунду, и, хотя для нас объем этой материи может показаться огромным, с точки зрения солнечных масштабов это незначительная потеря. За все время существования Солнца с солнечным ветром было потеряно менее сотой процента массы светила.

Солнечный ветер может существенно повлиять на повседневную жизнь человека. Помимо воздействия на магнитное поле, заряженные частицы в верхних слоях атмосферы могут в конечном счете влиять на погоду. По этой причине затухание и усиление солнечного ветра следует учитывать для прогнозов погоды.

Запуск спутников выявил еще одно, не ожидавшееся ранее воздействие солнечного ветра. Одной из главных задач для искусственных спутников было измерение радиации в верхних слоях атмосферы и близлежащего пространства, особенно интенсивности космических лучей (заряженных частиц большой энергии).

Сколько интенсивной может быть эта радиация под атмосферным щитом? Спутники несли счетчики Гейгера (впервые изобретенные немецким физиком Ганцем Гейгером в 1907 году и усовершенствованные в 1928 году). Излучение частиц измеряли следующим образом. В счетчике был ящик, содержащий газ под напряжением, недостаточным для прохождения тока через газ. Когда частица с высокой энергией проникала в ящик, она превращала атом газа в ион. Этот ион, летящий от энергии удара, врезается в соседние атомы и создает новые ионы, которые, в свою очередь, ударяют в соседние атомы, и т. д. Получившийся поток ионов способен проводить электрический ток, и через доли секунды через счетчик пробегает импульс. Число импульсов говорит об интенсивности излучения. Таким образом может быть измерена радиация в любом месте.

Когда 31 января 1958 года был выведен американский спутник, «Эксплорер-1», его счетчик определил ожидаемую концентрацию частиц на высоте в несколько сотен миль. Но на больших высотах (а «Эксплорер-1» поднялся на высоту 1575 миль) счетчик перестал считать; временами он показывал ноль! Предположили его неисправность, но запущенный 26 марта 1958 года «Эксплорер-3» поднялся на 2100 миль и получил те же результаты, что и третий советский искусственный спутник, запущенный 15 мая 1958 года.

Джеймс А. ван Аллен из университета штата Айова, который отвечал за программу исследования радиации, вместе с помощниками принялся искать объяснение. Он решил, что показания счетчика упали до нуля не потому, что излучения нет, но из-за того, что его слишком много. Прибор не смог справиться со всеми входящими в него частицами.

Когда 26 июля 1958 года был запущен «Эксплорер-4», на нем были специальные счетчики, разработанные для условий перегрузки. На одном из них, к примеру, имелось покрытие из тонкого слоя свинца (это что-то вроде солнечных очков для защиты глаз), который должен был задержать большую часть излучения. На этот раз счетчики повели себя совершенно иначе. Они показали, что предположение об избыточной радиации совершенно правильно. Достигнув высоты 1368 миль, «Эксплорер-4» послал на Землю информацию, что интенсивность излучения наверху намного больше, чем предполагали ученые. Фактически интенсивность излучения создала бы человеку в космосе смертельную угрозу.

Стало очевидно, что спутники «Эксплорер» проникли лишь в самые низкие слои этой зоны интенсивной радиации. Осенью 1958 года Соединенные Штаты запустили в направлении Луны два спутника (так называемые «лунные зонды»): «Пионер-1», который прошел на расстоянии 70 000 миль от Луны, и «Пионер-3», прошел на расстоянии 65 000 миль от Луны. Оба зонда пока-

зали, что существует два главных пояса окружающего Землю излучения. Они были названы *радиационные пояса Ван Аллена*, но позднее их называли *магнитосферой*, в соответствии с названиями других областей космоса в окрестностях Земли.

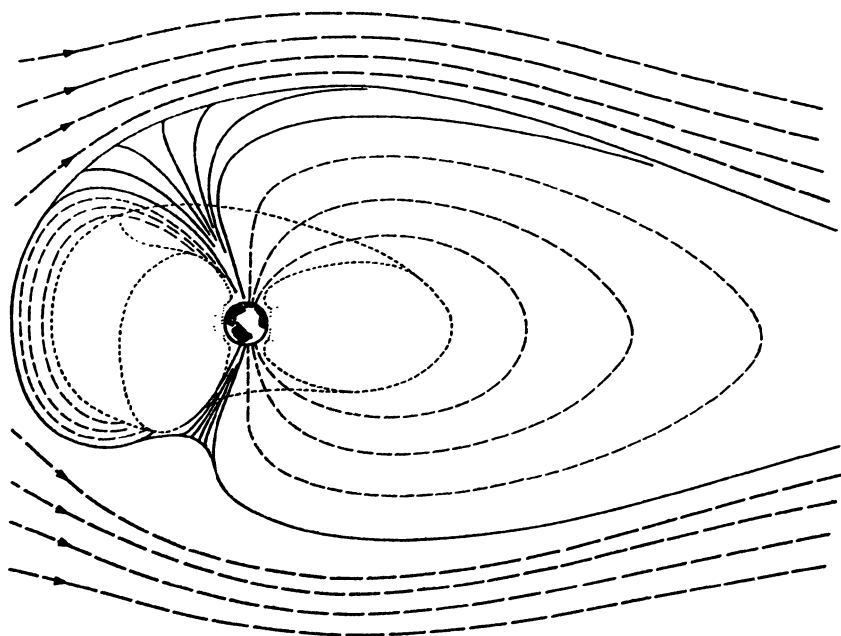
Поначалу было высказано предположение, что магнитосфера размещается вокруг Земли симметрично, подобно огромному тору, и что эти силовые магнитные линии расположены симметрично. Однако это предположение было отвергнуто, когда данные со спутника принесли новую информацию. В 1963 году, в частности, спутники «Эксплорер-14» и «Имп-1» были посланы на высокую эллиптическую орбиту, которая позволяла спутнику подниматься выше магнитосферы, насколько это только возможно.

Оказалось, что у магнитосферы имеется четкая граница, «магнитопауза», которую словно прибывает к Земле солнечным ветром на обращенной к Солнцу стороне и которая отстоит от Земли на огромном расстоянии с обратной стороны. Со стороны Солнца магнитопауза находится на расстоянии около 40 000 миль, с обратной стороны она может простирается на миллионы миль и больше. В 1966 году советский спутник «Луна-10», делая оборот вокруг Луны, определил слабое магнитное поле, которое на самом деле может быть хвостом земной магнитосферы, проходящей мимо Луны.

То, что заряженные частицы могут быть захвачены силовыми магнитными линиями, было предсказано в 1957 году родившимся в Америке греческим астрономом-любителем Николасом Кристофилом, который зарабатывал на жизнь службой в американской компании по продаже подъемников. Он послал свои расчеты ученым, занятым в этой области, но ни один из них не обратил на расчеты внимания (в науке, как и в других областях, профессионалы склонны игнорировать любителей). Только когда профессионалы независимо пришли к тем же результатам, Кристофилос получил признание и был приглашен в университет штата Калифорния, где он сейчас и работает. Его мысль о захвате частиц в наши дни называется *эффект Кристофила*.

Для того чтобы проверить, на самом ли деле данный эффект имеет место в космосе, Соединенные Штаты в августе и сентябре 1958 года запустили три ракеты с ядерными бомбами и взорвали их на высоте 300 миль — этот проект был назван проект Аргус. Поток заряженных частиц, образовавшийся в результате взрывов, распространился вдоль силовых линий и в самом деле был захвачен ими. В результате образовался пояс из частиц, который существовал продолжительное время. «Эксплорер-4» определил их присутствие, совершив сотни витков вокруг Земли. Однако из частиц также стало причиной свечения в атмосфере и на значительное время прервало работу радиолокаторов.

Но этот эксперимент был только прелюдией для другого, который повлиял на ближайшее космическое окружение Земли и



Радикационный пояс Ван Аллена, как его удалось проследить при помощи спутников. Как оказалось, радикационный пояс состоит из заряженных частиц, захваченных магнитным полем Земли

даже изменил его. Некоторые последствия этого эксперимента были восприняты научным сообществом с недовольством и протестами. Взорванная в космосе 9 июля 1962 года ядерная бомба привела к заметным изменениям в поясе Ван Аллена, как многие недовольные ученые (к примеру, Фред Хойл) и предсказывали. Советский Союз провел аналогичные испытания на большой высоте в 1962 году. Подобное вмешательство в естественное окружение Земли может помешать изучению магнитосферы, и похоже, что подобные эксперименты в ближайшем будущем повторяться не будут.

Кроме того, были предприняты попытки разместить на орбите слой тонких медных игл, чтобы проверить их способность отражать радиосигналы; это обещало возможность установить незатухающую во время магнитных бурь связь на большие расстояния (ионосфера довольно часто подвергается воздействию магнитных бурь, и радиосвязь может прерваться в очень важный момент).

Несмотря на возражения радиоастрономов, которые боялись возникновения помех радиосигналам из открытого космоса, этот проект («Проект Вестфорд», названный так в честь Вестфорда

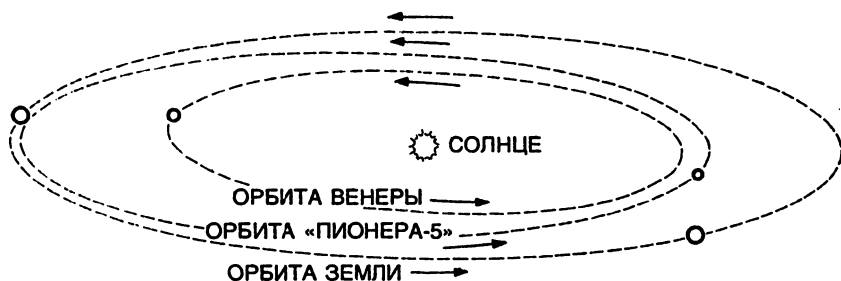
в штате Массачусеттс, где проходили подготовительные работы) был проведен 9 мая 1963 года. Спутник, имевший на борту 400 миллионов медных игл, каждая длиной в три четверти дюйма и тоньше человеческого волоса — общим весом в 50 фунтов, — был запущен на орбиту. На орбите иглы были выпущены, после чего они медленно распространились в окружающую Землю полосу, которая стала отражать радиоволны точно так, как от нее и ожидалось. Эта полоса оставалась на орбите на протяжении трех лет. Однако для эффективной работы требуется более толстая полоса, но на подобное вряд ли согласятся когда-либо радиоастрономы.

Естественно, ученых интересовало, есть ли радиационный пояс вокруг других небесных тел. Одной из возможностей определить это был запуск аппаратов вверх на скоростях достаточно больших, чтобы они преодолели силу земного притяжения (7 миль в секунду, в то время как спутник на орбите должен вращаться со скоростью 5 миль в секунду). Первым космическим аппаратом, который превысил вторую космическую скорость и улетел от Земли, чтобы стать первой вращающейся по орбите вокруг Солнца «искусственной планетой», была «Луна-1», запущенная 2 января 1959 года. Следующий лунный зонд, «Луна-2», достиг самой Луны 14 сентября 1959 года (это был первый созданный человеком объект, который опустился на поверхность другого космического тела). Оба космических корабля не обнаружили никаких признаков наличия у Луны радиационных поясов.

В этом не было ничего удивительного, поскольку ученые уже сделали вывод, что Луна не может иметь магнитного поля. Долгое время считалось, что плотность лунной поверхности составляет всего 3,3 грамма на кубический сантиметр (около трех пятых плотности Земли); такая плотность могла означать только то, что Луна состоит исключительно из силикатов и не имеет железного ядра. Отсутствия магнитного поля можно было ожидать, если считать, что существующие теории верны.

Но как насчет Венеры? По размеру и массе она является почти двойником Земли, и почти нет сомнений, что у Венеры имеется железное ядро. Но есть ли у нее магнитосфера? И Советский Союз, и Соединенные Штаты пытались запустить зонды к Венере, которые, двигаясь по своим орбитам, могли пройти недалеко от Венеры и послать назад нужную информацию. Посылка 27 августа 1962 года первого такого зонда, «Маринера-2», оказалась успешной. Спутник прошел на расстоянии 21 600 миль от Венеры 14 декабря 1962 года и не обнаружил никаких следов магнитосферы.

Это вовсе не обязательно говорит об отсутствии у Венеры железного ядра, поскольку сразу возникает еще одно объяснение.



Орбита американской «искусственной планеты» «Пионер-5», запущенной 11 марта 1960 года, показана по отношению к Солнцу и орбитам Земли и Венеры. Кружок на орбите ракеты приблизительно показывает ее положение 9 августа 1960 года, когда ракета была ближе всего к Солнцу

Вращение Венеры очень медленное — один раз в примерно восемь месяцев (тот факт, что вращение осуществляется в обратном направлении, в данном случае роли не играет), и столь малое вращение просто не может вызвать появление магнитного поля. Меркурий, который делает один поворот каждые два месяца, как сообщают, имеет слабое магнитное поле с интенсивностью, составляющей $\frac{1}{60}$ интенсивности земного.

Ну а что можно сказать о Марсе? Поскольку его плотность немного больше, чем у Луны, по всей видимости, у этой планеты есть небольшое железное ядро и, поскольку он вращается со скоростью один оборот за двадцать четыре с половиной часа, у него может быть очень слабое магнитное поле. Соединенные Штаты запустили «марсианский зонд» — «Маринер-4» — 28 ноября 1964 года. В июле 1965 года этот космический корабль прошел близко от Марса, — и из данных, что он собрал, можно сделать вывод, что у этой планеты нет магнитного поля.

Что касается планет Солнечной системы, расположенных дальше от Марса, есть много свидетельств полагать, что Юпитер и Сатурн имеют по крайней мере радиационные пояса, которые являются более густыми и сильными, чем земной пояс. Радиоволновое излучение от Юпитера, похоже, показывает на то, что у него есть магнитное поле, по крайней мере в 12—16 раз больше магнитного поля Земли. В 1965 году излучение радиоволн было зафиксировано от Урана и Нептуна.

Одной из важнейших причин для тщательного исследования магнитосферы является, конечно, забота о жизни первооткрывателей Вселенной в открытом космосе. В 1959 году Соединенные Штаты отобрали 7 человек (обычно называемых астронавтами) для участия в «Проекте Меркурий», целью которого являлся вывод человека на орбиту. Советский Союз также начал программу подготовки тех, кого называли *космонавтами*.

Честь достижения первым поставленной цели принадлежит советскому космонавту Юрию Алексеевичу Гагарину, который побывал на орбите 12 апреля 1961 года (всего через три с половиной года после открытия космической эры первым спутником). Он благополучно вернулся на Землю, сделав оборот вокруг Земли за полтора часа, и стал первым космонавтом.

В последующие несколько лет Советский Союз запустил на орбиту еще несколько космических кораблей. На протяжении довольно длительного периода времени рекорд продолжительности нахождения в космосе удерживал Валерий Федорович Быковский, который, отправившись в полет 14 июня 1963 года, сделал 82 оборота вокруг Земли, прежде чем вернуться назад. 16 июня 1963 года в космос полетела первая женщина, Валентина Владимировна Терешкова.

Первым американцем, чей корабль выведен на орбиту, стал Джон Гершел Гленн. После старта 20 февраля 1962 года он сделал 3 витка вокруг Земли. Американский рекорд продолжительности пребывания в космосе принадлежал Лерою Гордону Куперу, который стартовал в космос 15 мая 1963 года и успешно совершил 22 витка вокруг Земли.

На протяжении ряда лет космические полеты с человеком на борту, как в Советском Союзе, так и в Соединенных Штатах, проходили успешно и без человеческих жертв.

В 1964-м и 1965 годах в Соединенных Штатах и Советском Союзе были совершены полеты в аппаратах, рассчитанных на экипаж из двух или трех человек. В рамках одного из таких полетов 18 марта 1965 года советский космонавт Алексей Леонов, облаченный в специальный скафандр и держась за «спасательный трос», совершил выход из своего аппарата и стал первым человеком, летящим в открытом космосе.

Метеоры

Даже греки знали, что «падающие звезды» на самом деле звездами не являются, поскольку, сколько бы «звезд» ни упало, на небе остается все тот же набор. Аристотель высказал мысль, что падающая звезда, поскольку является временным феноменом, — какое-то атмосферное явление (и в этом он оказался прав). С тех пор эти объекты стали называть *метеорами*, что означало «предметы в воздухе». Метеоры, которые достигали поверхности Земли, получили название *метеориты*.

Древние даже стали свидетелями нескольких падений метеоритов на Землю и нашли, что они представляют собой глыбы льда. Гиппарх из Никеи писал, что сам был свидетелем подобного падения. Кааба, священный черный камень в Мекке, как полагают, — метеорит; священное значение он приобрел благодаря

небесному происхождению. В «Илиаде» упоминается глыба грубого железа, которой награждают в качестве одного из призов на погребальных играх Патрокла; вероятно, это был метеорит, поскольку то время было эпохой бронзы и получение железа еще не было развито. Фактически метеоритное железо использовалось еще в 3000 году до нашей эры.

В XVIII столетии, в век расцвета Разума, наука не только не продвинулась в этой области вперед, а даже немного отступила. Ученые мужи презрительно смеялись над теми, кто говорил, что «камни падают с неба». Крестьянам, которые приходили во Французскую академию с обломками метеоритов, вежливо, но нетерпеливо указывали на дверь. Когда два ученых из Коннектикута в 1807 году сообщили, что наблюдали падение метеорита, президент Томас Джефферсон заявил (это было одно из многих его неуместных замечаний), что он скорее поверит, что два профессора-янки лгут, чем в то, что камни могут падать с неба.

Однако 13 ноября 1833 года на Соединенные Штаты обрушился метеоритный дождь, получивший название Леониды, поскольку, казалось, исходил из точки в созвездии Лев. На несколько часов метеориты превратили небо в фейерверк более яркий, чем наблюдался когда-либо раньше и какого с тех пор не видели никогда. Насколько известно, ни один метеорит не долетел до Земли, однако это зрелище стимулировало изучение метеоров, и астрономы впервые обратились к ним со всей серьезностью.

В следующем же году шведский химик Йенс Якоб Берцелиус приступил к систематическому анализу метеоритов. В конце концов такие анализы дали астрономам ценную информацию об общем возрасте Солнечной системы и даже о химическом составе Вселенной.

Заметив время года, в которое число метеоритов становится наибольшим, и место в небе, откуда исходят метеоры, наблюдатели смогли определить орбиты различных групп метеоров. Таким образом они нашли, что метеоритный поток возникает, когда орбита Земли пересекает орбиту потока метеоритов.

Не являются ли метеоритные потоки на самом деле осколками распавшихся комет? О способности комет распасться свидетельствует то, что одна из них, комета Бьела, действительно распалась на глазах астрономов в XIX столетии, оставив после себя на орбите облако метеоров.

Кометы могут быть очень хрупкими из-за своей структуры. Американский астроном Фред Лоуренс Уиппл предположил в 1950 году, что кометы состоят из гальки и каменистого материала, сцементированного льдом из таких замерзающих при низких температурах газов, как метан или аммиак. Немного льда испарялось при каждом приближении к Солнцу, освобождая пыль и частицы, которые относило в сторону от Солнца (как мы теперь знаем) солнечным ветром. В конечном счете весь лед исчезал и

от кометы оставалось либо каменное ядро, либо беспорядочное метеорное облако из составлявших его когда-то камней. При каждом приближении комета могла потерять 0,5 процента массы; даже если комета не подходит к Солнцу близко, она претерпит кардинальные изменения не более чем за миллион лет. Поскольку Солнечная система существует около 5 миллиардов лет, те кометы, что существуют в наши дни, могут быть только сравнительно недавними ее гостями из внешнего космоса, из предполагаемого Оортом огромного облака комет, которое там существует.

Большинство найденных на Земле метеоритов (в общей сложности известно 1700, из которых 35 весят более тонны каждый) состоят из железа, и потому считалось, что метеориты из железа численно превосходят метеориты из камня. Однако это предположение оказалось неверным. Наполовину погруженный в каменное плато кусок железа намного заметней, чем камень среди других камней. Когда астрономы подсчитали все метеориты, найденные после того, как было замечено их падение, они определили, что число железных метеоритов относится к числу каменных как один к девяти. (На протяжении некоторого времени большинство каменных метеоритов было найдено в Канзасе, что казалось странным, пока кто-то не сообразил, что в лишенных камней осадочных породах Канзаса камень столь же заметен, как глыба железа в других местах.)

Ущерб при падении метеориты наносили крайне редко. Хотя ежегодно на Землю падает около 500 крупных метеоритов (к сожалению, из них фиксируется только 20), поверхность Земли велика, и только отдельные ее районы густо заселены. До сих пор неизвестно ни одного случая, чтобы какой-либо человек был убит метеоритом, хотя одна женщина в Алабаме сообщила, что ее поцарапал боковой удар небесного посланца 30 ноября 1955 года.

Тем не менее у метеоритов есть серьезный опустошительный потенциал. К примеру, в 1908 году удар метеорита в Северной Сибири привел к образованию кратера 150 футов диаметром, при этом вокруг кратера в радиусе 20 миль были повалены деревья. К счастью, метеорит упал в дикой тайге; если бы он упал пятью часами позже с того же направления, он мог попасть в Санкт-Петербург, который был тогда столицей России. В этом случае город был бы стерт с лица Земли словно взрывом водородной бомбы. По оценкам, общий вес метеорита составлял 40 000 тонн. С тех пор самый серьезный удар метеорита произошел около Владивостока (на Дальнем Востоке) в 1947 году.

Есть основания полагать, что в доисторические времена на Землю обрушивались еще более сильные удары. В Аризоне есть круглый кратер диаметром $\frac{4}{5}$ мили и 600 футов глубиной; кратер окружает выброс Земли высотой от 100 до 150 футов. Выглядит он как миниатюрный лунный кратер. Долгое время считалось, что это затухший вулкан, но горный инженер по имени Даниэл Моро

Баррингер настойчиво доказывает, что кратер образовался в результате столкновения с метеоритом и потому сейчас носит название кратер Баррингера. Кратер окружен глыбами метеоритного железа, которое в общей сложности насчитывает тысячи (а возможно, и миллионы) тонн. Хотя до сих пор из окрестностей кратера была извлечена только небольшая часть метеоритного железа, его оказалось больше, чем извлечено во всем остальном мире. Метеоритное происхождение кратера также подтверждается открытием в 1960 году форм кремния, которые могут быть только результатом кратковременных огромных давлений и температур, сопровождающих удар метеорита.

Кратер Баррингера, появившийся в пустыне примерно 25 000 лет назад, сохранился достаточно хорошо. В других местах планеты такой кратер в большинстве случаев скрыли бы вода или растительность. К примеру, наблюдения с самолетов выявили прежде не замеченные кругообразные формации — частично заполненные водой, частично покрытые растительностью, — которые определенно имеют метеоритное происхождение. Несколько таких кратеров было найдено в Канаде, включая кратер Брент в центральном Онтарии и кратер Чубб в Северном Квебеке, каждый из которых диаметром 2 и более миль, а также кратер Ашанти в Гане, диаметром 6 миль. Им, по всей видимости, миллион лет или даже больше. Известно 14 таких «ископаемых» кратеров, и некоторые геологические признаки позволяют предполагать, что их было больше.

Кратеры на Луне, которые мы можем разглядеть при помощи телескопов, имеют размеры от такого, как у кратера Баррингера, до 150 миль в поперечнике. Луна, на которой нет воздуха, воды и жизни, является почти совершенным музеем для кратеров, поскольку они практически не подвергаются разрушению, за исключением разве что медленного воздействия перепадов температуры из-за происходящей каждые две недели смены лунного дня и лунной ночи. Возможно, Земля была бы «рябой», подобно Луне, если бы ее поверхность не «лечили» ветер, вода и растения.

Поначалу считалось, что кратеры на Луне имеют вулканическое происхождение, однако по своей структуре кратеры не напоминали земные вулканы. К 1890-м годам приобрела популярность гипотеза, что кратеры возникли в результате ударов метеоритов; со временем эта теория стала преобладающей.

Большие «моря», которые представляют собой огромные окружности с грубыми краями и с относительно малым содержанием кратеров внутри, являются не чем иным, как результатом ударов особенно больших метеоритов. Этот взгляд укрепился в 1968 году, когда выведенные на окололунную орбиту спутники показали неожиданное отклонение от круговой орбиты. Это отклонение может объясняться только тем, что часть лунной поверхности имеет большую плотность, чем средняя, что вызывает не-

большое увеличение гравитационного притяжения, — и именно это увеличение и вынуждает спутник отклоняться. Эти районы большего притяжения, которые в целом совпадали с размещением морей, получили название масконы (от слов «концентрация массы»). Наиболее правдоподобным объяснением возникновения подобных областей является предположение, что метеоры, которые привели к появлению этих морей, до сих пор покоятся под их поверхностью — а эти метеоры имеют значительно большую плотность, чем каменистый материал, который обычно составляет лунную кору. По крайней мере дюжина масконов была обнаружена в пределах года после открытия первого из них.

Однако и взгляд на Луну как на «мертвый мир», в котором нет вулканической деятельности, тоже оказался неверен. 3 ноября 1958 года русский астроном Н.А. Козырев заметил красноватый участок в кратере Альфонса. (Уильям Гершель говорил о замеченном им красноватом пятне еще в 1780 году.) Исследование при помощи спектроскопа позволило Козыреву сделать вывод, что из недр Луны выходят газ и пыль. После этого сообщения было немедленно обнаружено несколько других красных пятен и стало достаточно очевидно, что на Луне имеет место вулканическая активность. Во время полного лунного затмения в декабре 1964 года было обнаружено, что 300 кратеров были горячее окружающей местности, хотя, конечно, недостаточно горячи для того, чтобы светиться.

После того как на орбиту вокруг Земли был выведен в 1957 году первый спутник, было только вопросом времени исследование Луны вблизи. Первый успешный «лунный зонд» «Луна-1» запустил Советский Союз 2 января 1959 года. Не прошло и двух месяцев, как Соединенные Штаты повторили этот успех.

12 сентября 1959 года Советы запустили «Луну-2», которая должна была достичь поверхности Луны. Впервые в истории созданный человеком объект достиг поверхности другого мира. Затем, месяцем позже, советский спутник «Луна-3» облетел Луну и при помощи направленной телевизионной камеры показал сторону Луны, которую прежде мы никогда не видели. Сорок минут телевизионного изображения были посланы обратно на расстояние в 40 000 миль. Изображение было расплывчатым, но показало кое-что интересное. На другой стороне Луны не было ярко выраженных морей, которые столь сильно определяли облик противоположной стороны. Отчего возникла такая асимметрия, неясно до сих пор. Возможно, моря появились относительно поздно в истории Луны, когда одна сторона Луны была уже постоянно обращенной к Земле и большие метеоры, которые стали причиной появления морей, отклонялись земным притяжением к ближайшей к Земле стороне Луны.

Но исследования Луны только начались. В 1964 году Соединенные Штаты запустили лунный зонд «Рейнджер-7», который

должен был врезаться в лунную поверхность, делая фотографии до последней секунды. 31 июля 1964 года зонд успешно завершил свою миссию, сделав 4316 фотографий района, в наши дни называемого Море Познанное. В начале 1965 года «Рейнджер-8» и «Рейнджер-9» добились еще большего успеха. Их лунные пробы показали, что лунная поверхность твердая (или, по крайней мере, рассыпчатая), а не представляет собой толстый слой пыли, как полагали до того многие астрономы. Эти пробы показали также, что районы, которые казались с Земли ровными, на самом деле изрыты кратерами, слишком маленькими, чтобы быть заметными с Земли.

Советский зонд «Луна-9» совершил успешную «мягкую посадку» (то есть не разрушился, опускаясь на поверхность) на Луну 3 февраля 1966 года, после чего отправил на Землю фотографии с поверхности. 3 апреля 1966 года Советский Союз вывел на 3 часа на орбиту Луны зонд «Луна-10» — он измерял радиоактивность лунной поверхности. Станция также определила, что камни лунной поверхности по своему составу аналогичны базальтам, выстилающим океанское дно Земли.

Американцы послали на Луну ракету с еще более изощренной техникой. Первое мягкое приземление американцев на Луне состоялось благодаря «Сервейору-1» 1 июня 1966 года. К сентябрю 1967 «Сервейор-5» работал и проводил анализы лунной поверхности под управлением по радио с Земли. Оказалось, что и в самом деле породы Луны напоминают базальт; выяснилось также, что в них имеются частицы железа, по всей вероятности метеоритного происхождения.

10 августа 1966 года на орбиту вокруг Луны был запущен первый из американских зондов «Лунар орбитер». (Именно эти зонды обнаружили масконы.) «Лунар орбитер» произвел подробное фотографирование всех частей Луны, так что теперь ее поверхность известна во всех подробностях (включая и сторону, невидимую с поверхности Земли). Кроме этого, были произведены очень эффектные фотографии Земли с орбиты Луны.

К слову, лунные кратеры были названы в честь астрономов и других выдающихся людей прошлого. Поскольку большая часть имен была дана примерно в 1650 году итальянским астрономом Джованни Баттиста Риччоли, кратеры носят имена выдающихся астрономов прошлого Коперника, Тихо и Кеплера, а также греческих астрономов Аристотеля, Архимеда и Птолемея, которые были прославлены присвоением их имен самым большим кратерам.

Полет «Луны-3» к обратной стороне Луны потребовал новых обозначений. Русские воспользовались своим правом первопроездцев и оставили на карте ряд своих самых заметных имен. Они дали названия кратерам не только в честь Циолковского, великого пророка космических путешествий, но также и в честь Ломоносова и Попова, двух прославленных русских ученых. Рус-

ские также наградили кратеры именами западных ученых, включая Максвелла, Герца, Эдисона, Пастера и Кюри — все они упоминаются в этой книге. Очень удачным является то, что на противоположной от нас стороне Луны есть и имя французского основоположника научной фантастики Жюль Верна.

В 1970 году обратная сторона Луны была изучена достаточно хорошо, чтобы внести в процесс присвоения названий систему. Под руководством американского астронома Дональда Говарда Менцеля международный комитет разместил на карте Луны сотни названий, прославляющих великих людей прошлого, которые тем или иным способом внесли значительный вклад в науку. Наиболее значительные кратеры получили имена русских ученых, Менделеева, который впервые разработал периодическую таблицу, Гагарина — первого человека, совершившего полет вокруг Земли (позднее погибшего в авиационной катастрофе). Названия других лунных объектов увековечили память голландского астронома Герцшпрунга (датского астронома, работавшего в Голландии и Германии), французского математика Галуа, итальянского физика Ферми, американского математика Винера и английского физика Кокрофта. На сравнительно небольшой поверхности Луны мы можем найти имена Нернста, Рентгена, Лоренца, Мозли, Эйнштейна, Бора и Дальтона — все они сыграли огромную роль в развитии атомной теории и исследовании структуры ядра.

Поскольку Менцель интересовался научной фантастикой и научными книгами, он выразил мнение, что следует дать нескольким кратерам имена тех писателей, которые вызвали в целом поколения интерес к космическим полетам в те времена, когда ортодоксальная наука считала такие полеты химерой. По этой причине один из кратеров получил имя Хьюго Гернсбака, который стал издавать в Соединенных Штатах журналы, посвященные исключительно научной фантастике. Другой кратер получил имя Уилли Лея, который из всех писателей наиболее точно и полно обрисовал возможности и перспективы ракетостроения. (Трагичным выглядит тот факт, что Лей скончался за 6 недель до первой посадки на Луну — приземления, которого ждал всю свою жизнь.)

Несмотря на все успехи, исследования при помощи одних только приборов не могут сравниться с теми исследованиями, которые начались в конце 1960-х годов, когда в космос отправлялись пилотируемые космические корабли.

Тем, кто пренебрегает угрозой со стороны метеоров и считает, что огромные разрушения от метеоритов относятся к далекому прошлому Солнечной системы, хотелось бы напомнить об астероидах или планетоидах. Каким бы ни было их происхождение — результат взрыва огромной планеты или формирования из межпланетного вещества, — они достаточно велики и достаточно близко от нас находятся. Большая часть из них обращается вокруг Солнца в поясе между Марсом и Юпитером. Но в 1898 году

немецкий астроном Г. Витт обнаружил, что один из астероидов при вращении вокруг Солнца попадает между Марсом и Землей. Он назвал его Эрос, и с тех пор планетоиды с необычными орбитами получали мужские имена. (Планетоиды с обычными орбитами, расположенные между Марсом и Юпитером, получили женские имена, даже если их называли в честь мужчин, к примеру Рокфеллия, Карнегия, Гуверия.)

Орбиты Эроса и Земли отстоят друг от друга примерно на 13 миллионов миль, что составляет половину минимального расстояния между Землей и Венерой, нашим ближайшим соседом из обычных планет. В 1931 году Эрос прошел на расстоянии только 17 миллионов миль от Земли; в следующий раз он близко подошел к Земле в 1975 году. С тех пор было найдено еще несколько планетоидов, проходящих близко к Земле. В 1932 году были найдены два планетоида под названием Амур и Аполлон с орбитами, приближающимися к орбите Земли на 10 и 7 миллионов миль соответственно. В 1936 году был обнаружен еще более близкий планетоид, названный Адонис, который мог приближаться к Земле на 1,5 миллиона миль. И в 1937 году планетоид Гермес появился на орбите, которая могла приблизить его на расстояние 200 000 миль, то есть сделать ближе Луны. (Хотя точно сказать об орбите Гермеса трудно, поскольку его наблюдали короткое время, после чего он исчез.)

Особенно необычный небесный странник по имени Икар был обнаружен в 1948 году Вальтером Бааде. Икар прошел на расстоянии 4 миллионов миль от Земли, по вытянутой, как у кометы, орбите. В афелии Икар уходит к орбите Марса, в перигелии приближается на 17 миллионов миль к Солнцу. Именно по этой причине ему дали имя героя древнегреческих мифов, который поднялся к Солнцу на крыльях, скрепленных воском. Только некоторые кометы подходят к Солнцу ближе Икара. Одна из больших комет в 1880-х годах прошла от Солнца на расстоянии меньше миллиона миль.

Эрос, самый большой из космических странников, представляет собой напоминающую кирпич планету, как полагают, в 15 миль длиной и 5 миль шириной. Другие планеты, такие, как Гермес, имеют в диаметре только одну милю. Тем не менее даже Гермес способен создать кратер примерно в сотню миль диаметром при ударе о Землю или создать цунами непредсказуемых размеров в случае падения в океан. К счастью, вероятность этого очень мала.

Метеориты, как единственные экземпляры материи неземного происхождения, что мы можем изучать, вызывали изумление не только у астрономов, геологов, химиков и металлургов, но также и у космологов, которые занимались проблемами проис-

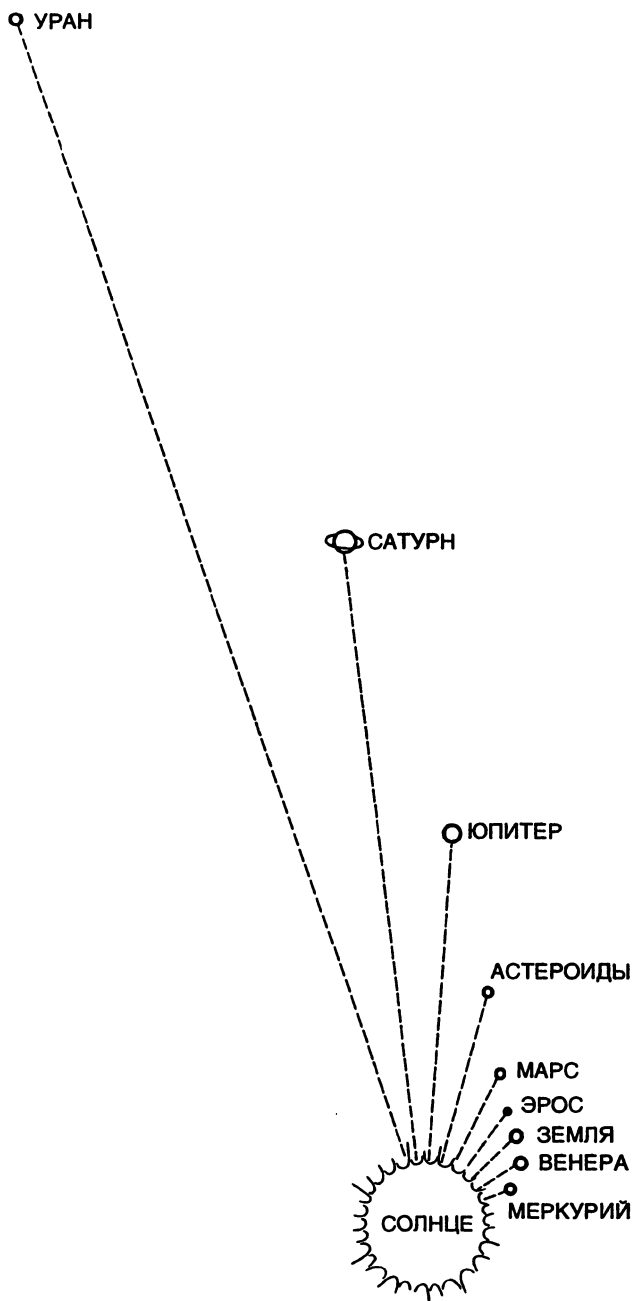
хождения Вселенной и Солнечной системы. Среди метеоритов есть странные стекловидные объекты, которые можно найти в некоторых местах и на Земле. Первый раз такие объекты были найдены на территории Чехословакии в 1787 году. В Австрии подобные объекты были обнаружены в 1864 году. Они получили название тектиты, от греческого слова «расплавленные», поскольку считалось, что появились из-за плавления при прохождении через атмосферу.

В 1936 году американский астроном Харвей Харлоу Ниннингера высказал предположение, что тектиты — это осколки материала, выброшенного с поверхности Луны ударом большого метеора и захваченные гравитационным полем Земли. Особенно большое число тектитов было найдено в Австралии и Юго-Восточной Азии (много их было извлечено из пород, поднятых со дна Индийского океана). Это были, похоже, самые молодые тектиты, возрастом всего в 700 000 лет. Отсюда было сделано заключение, что тектиты появились в результате сильного удара метеорита, который создал кратер Тихо (самый молодой из живописных лунных кратеров) на Луне. Тот факт, что этот удар, похоже, совпал с самой последней сменой Землей магнитного поля, вызвал предположения, что удивительно нерегулярная смена Землей магнитных полюсов вызвана какими-то произошедшими с Землей катастрофами.

Тектиты являются экземплярами простейшего вещества, которое возникло в ранней истории нашей Солнечной системы. В таком качестве тектиты дают нам как бы независимую точку отсчета для измерения возраста Солнечной системы. Возраст отдельных тектитов может быть определен различными методами, включая изучение продуктов радиоактивного распада. В 1959 году Джон Рейнольдз из университета Калифорнии определил возраст упавших в Северной Дакоте метеоритов в 5 миллиардов лет, что, таким образом, является минимальным возрастом Солнечной системы.

Метеориты составляют лишь малую толику материи, падающей через земную атмосферу из космоса. Небольшие метеориты, которые сгорают в воздухе, не достигнув поверхности Земли, добавляют даже большую массу. По отдельности эти частицы вещества крайне малы — при массе всего 1 грамм «падающая звезда» при вхождении в атмосферу светит столь же ярко, как Венера. Некоторые наблюдаемые метеоры имеют всего $1/10000$ этой массы!

Общее число метеоров, пронзающих земную атмосферу, было подсчитано; оказалось, что их немыслимо много. Каждый день в атмосферу падает не менее 20 000 частиц, каждая из которых весит по крайней мере 1 грамм; около 200 миллионов других достаточно велики, чтобы их свечение было видимо невооруженным глазом, а многие миллиарды имеют меньший размер.



Схематическое изображение радиусов орбит большинства планет Солнечной системы, указывающее их расстояния от Солнца и положение Эроса и астероидов. Грубо говоря, каждая последующая планета в 2 раза дальше от Солнца, чем предыдущая

Мы знаем об этих микрометеорах из-за того, что в воздухе были найдены частицы пыли с необычной формой и большим содержанием никеля, что нехарактерно для обычной земной пыли. Другое свидетельство присутствия большого количества микрометеоров — это слабое небесное свечение, которое было названо *зодиакальным свечением* (оно было впервые обнаружено примерно в 1700 году Д.Д. Кассини), поскольку наиболее заметно в окрестностях плоскости орбиты Земли, где размещаются созвездия зодиака. Зодиакальное свечение очень слабо, и его нельзя видеть даже в безлунную ночь, несмотря на благоприятные условия. Зодиакальное свечение отличается от небесного свечения: его спектр не имеет линий атомарного кислорода или атомарного натрия — он лишь отражает свет, и больше ничего. Отражение же идет, по всей видимости, от пыли, собравшейся в космосе в плоскости орбиты Земли — короче, от микрометеоритов. Их число и размер могут быть определены по интенсивности зодиакального свечения.

Микрометеориты могут быть в наши дни сосчитаны с большей точностью благодаря искусственным спутникам. Чтобы обнаружить микрометеориты, некоторые из спутников покрыты чувствительным материалом, который дает сигнал каждый раз, когда метеоритный удар изменяет электрическое сопротивление. Также обнаружить микрометеориты позволяют чувствительные микрофоны, которые издают в этом случае сигналы. Подсчет с помощью спутников позволил определить, что каждый день в атмосферу входит 3000 тонн метеорного вещества, пять шестых при этом содержит столь малые микрометеориты, чтобы они могли быть замечены в виде «падающих звезд». Эти микрометеориты могут создавать тонкое облако пыли вокруг Земли. Это облако, уменьшая плотность, тянется на 100 000 миль перед тем, как будет достигнута обычная плотность материи в межпланетном пространстве.

Зонд к Венере «Маринер-2», запущенный 27 августа 1962 года, показал, что содержание пыли в космосе обычно составляет только $\frac{1}{10000}$ часть концентрации пыли около Земли. Американский астроном Фред Лоуренц Уиппл предположил, что источником этого облака может быть Луна. Пыль поднимается с поверхности Луны из-за бомбардировки ее метеоритами. У Венеры нет спутников, и она не имеет облака пыли.

Георнаф Ганс Петтерсон, которого особенно интересовала метеоритная пыль, взял в 1957 году несколько проб воздуха на вершине гор Гавайских островов, которые удалены от промышленных центров на максимальное расстояние, на какое только можно удалиться на Земле. Исследования привели его к выводу, что на Землю каждый год падает примерно 5 миллионов тонн метеоритной пыли. (Похожие измерения Джеймса М. Розена, сделанные при помощи размещенных на воздушных шарах приборов, позво-

лили определить эту цифру в 4 миллиона тонн, в то время как по другим данным эта цифра составляет всего 100 000 тонн в год.) Ганс Петтерсон попытался оценить объем выпадавшей в прошлом пыли, анализируя пробы с океанского дна на содержание пыли с высоким процентом никеля. Он обнаружил, что в целом в верхних слоях осадочных отложений содержится больше такой пыли, чем в нижних, что показывает (хотя эти свидетельства не могут считаться надежными), что скорость бомбардировки метеоритами в последнее время могла возрастать. Эта метеоритная пыль может иметь прямое отношение к каждому из нас, поскольку, согласно выдвинутой в 1953 году теории австралийского физика И.Г. Боуэна, она является ядрами для дождевых капель. Если это так на самом деле, тогда по числу осадков можно определить интенсивность, с которой Землю бомбардируют метеориты.

Происхождение воздуха

Возможно, нам следует больше задаваться вопросом не как возникла земная атмосфера, а как она смогла удержаться на земном шаре, когда Земля, вращаясь целую вечность, прокладывала себе дорогу в космосе. Для того чтобы ответить на этот вопрос, надо обратиться к так называемой «второй космической скорости».

Если бросить какой-нибудь предмет от Земли, сила притяжения будет замедлять его движение до тех пор, пока тело не остановится, после чего начнет падать на Землю. Если сила гравитации одинакова на всем пути вверх, то высота подъема будет пропорциональна квадрату первоначальной скорости в направлении от Земли. К примеру, если скорость будет не одна миля в час, а две, то высота подъема увеличится в 4 раза (энергия возрастает пропорционально квадрату скорости).

Но конечно, сила притяжения не является постоянной: она медленно уменьшается с высотой. (Говоря более точно, она падает в квадратной пропорции от увеличения расстояния до центра Земли.) Предположим, мы выстрелим вверх объект со скоростью 1 миля в секунду. Он достигнет высоты 80 миль, после чего повернется и начнет падать (мы игнорируем сопротивление воздуха). Если мы выстрелим этот же самый объект вверх со скоростью 2 мили в секунду, он поднимется в 4 раза выше прежнего уровня. На высоте 80 миль влияние земного притяжения значительно меньше, чем на уровне Земли, так что полет объекта на большой высоте будет проходить в более слабом поле притяжения. В результате высота поднимется до 350 миль, а не до 320 миль.

Если объекту придать начальную скорость 6,5 мили в секунду, объект поднимется на 25 800 миль. В этой точке сила притя-

жения составит одну сороковую силы на поверхности Земли. Если мы добавим всего 0,1 мили в секунду к первоначальной скорости (то есть запустим со скоростью 6,6 мили в секунду), объект поднимется на 34 300 миль.

Можно вычислить, что объект, запущенный с начальной скоростью 6,98 мили в секунду, никогда не вернется на Землю. Хотя сила земной гравитации постепенно замедлит скорость движения объекта, ее влияние будет постепенно уменьшаться, и в конечном счете земное притяжение не сможет заставить объект остановиться (когда скорость равна нулю) относительно Земли (так что неверно выражение «все, что поднялось вверх, когда-либо опустится вниз»). «Луна-1» и «Пионер-4», запущенные со скоростью больше 7 миль в секунду, никогда не вернутся назад.

Скорость 6,98 мили в час называется второй космической скоростью. Вторая космическая скорость для какого-либо космического тела может быть вычислена из его массы и размеров. Для Луны это только 1,5 мили в секунду, для Марса — 3,2 мили в секунду, для Сатурна — 23 мили в секунду, для Юпитера — наиболее массивной планеты Солнечной системы — 38 миль в секунду.

Все эти рассуждения имеют прямое отношение к вопросу об удержании атмосферы Землей. Атомы и молекулы в воздухе постоянно летают вокруг, словно миниатюрные ракеты. Их отдельные скорости значительно разнятся, и единственный способ их описать — статистический: к примеру, движется ли данная часть молекул быстрее данной скорости или быстрее средней скорости при данных условиях. Формула для определения этого была впервые выведена в 1860 году Джеймсом Клерком Максвеллом и австрийским физиком Людвигом Больцманом и зовется законом Максвелла—Больцмана.

Средняя скорость молекул кислорода в воздухе при комнатной температуре составляет 0,3 мили в секунду. Молекула водорода, которая в 16 раз легче, движется в среднем в 4 раза быстрее, или со скоростью 1,2 мили в секунду, из-за того, что, согласно закону Максвелла—Больцмана, скорость данной частицы при данной температуре обратно пропорциональна квадратному корню их молекулярного веса.

Необходимо помнить, что мы имеем дело только со средними скоростями. Половина молекул движется быстрее средней скорости, часть молекул движется вдвое быстрее, небольшое количество более чем в три раза и т. д. В атмосфере есть очень небольшая доля молекул кислорода и водорода, которые развивают скорость более 6,98 мили в секунду, или второй космической.

В нижних слоях атмосферы эти быстрые молекулы не могут улететь, поскольку из-за столкновений их скорость уменьшается более медленными молекулами. Но в верхних слоях атмосферы их шансы много выше. Непрерывное излучение Солнца дает

многим молекулам воздуха дополнительную энергию и разгоняет их до больших скоростей. Кроме того, возможность столкновения значительно уменьшается из-за разреженности воздуха. В то время как молекула на поверхности Земли проходит в среднем всего четыре миллионных дюйма перед столкновением со своим соседом, на высоте в 65 миль средняя длина свободного пробега перед столкновением составляет 4 дюйма, а на высоте 1100 ярдов — 140 миль. Среднее число столкновений для молекулы на высоте 65 миль — 1 столкновение в секунду, в то время как на уровне моря — 5 миллиардов в секунду. Это значит, что у быстрой частицы на высоте в 100 миль и выше возможностей покинуть Землю значительно больше. Если молекула движется вверх, в области, где плотность меньше и меньше — а, таким образом, вероятность столкновений падает, — в конце концов эта молекула может улететь в межпланетное пространство и никогда не вернуться.

Другими словами, из атмосферы Земли происходит утечка. Но эта утечка относится главным образом к самым легким молекулам. Кислород и азот столь тяжелы, что лишь незначительная доля из них достигает второй космической скорости, и потому не так много кислорода и азота было потеряно со времени их появления в земной атмосфере. С другой стороны, водород и гелий легко достигают второй космической скорости.

Так что нет ничего удивительного в том, что водород и гелий в наши дни в земной атмосфере не присутствуют.

Более массивные планеты, такие, как Юпитер и Сатурн, могут содержать даже водород и гелий, так что они могут иметь обширную атмосферу, состоящую по большей части из этих элементов (которые, вообще говоря, являются наиболее распространенными элементами Вселенной). Водород, присутствующий в огромных количествах, обычно вступает в реакции с другими находящимся в атмосфере элементами, так что углерод, азот и кислород будут присутствовать только в форме содержащих водород составов: метан (CH_4), аммиак (NH_3) и вода (H_2O) соответственно. Хотя аммиак и метан присутствуют на Юпитере в небольших концентрациях, они были найдены первыми (в 1931 году американским астрономом немецкого происхождения Рупертом Уилдтом), поскольку эти вещества легко заметить по их полосам поглощения в спектре, а водород и гелий трудно. Наличие водорода и гелия было определено довольно косвенными методами в 1952 году.

На основе своих наблюдений Уилдт начал размышлять над структурой Юпитера и других планет. Он предположил, что под толстым верхним слоем атмосферы располагается слой замерзшей воды, а еще ниже — каменное ядро. Похожую структуру, считал Уилдт, имеют и самые крупные планеты дальше Юпитера. Сатурн, который определенно имеет меньшую плотность, чем

Юпитер, должен иметь более объемную атмосферу и меньшее по размеру ядро. У Нептуна, который определенно имеет большую плотность, меньшая по объему атмосфера и большее (для его размера) ядро. Однако единственное, что мы действительно хорошо можем видеть на Юпитере, — это верхние слои его атмосферы; радиоизлучение недостаточно для того, чтобы сказать, что происходит внизу.

Обратив взор в другом направлении, следует заметить, что Марс — маленькая планета и сила его притяжения не способна удерживать тяжелые молекулы, так что плотность атмосферы Марса составляет всего одну десятую плотности земной атмосферы. Луна, с ее совсем малой второй космической скоростью, не может содержать какую-либо атмосферу и потому является безвоздушной.

Температура — столь же важный фактор, как и притяжение. Уравнение Максвелла—Больцмана гласит, что средняя скорость частиц пропорциональна квадратному корню из абсолютной температуры. Если бы на Земле была такая же температура, как на поверхности Солнца, все атомы и молекулы в ее атмосфере увеличили бы скорость в 4—5 раз и Земля бы не удержала своего кислорода и азота, как она не смогла удержать водород и гелий.

С другой стороны, если бы температура стала ниже, возможность удержания молекул данного вида увеличилась бы. В 1943 году, к примеру, Койпер смог обнаружить атмосферу из метана на Титане, самом большом спутнике Сатурна. Титан немногим больше Луны, и, если бы он находился от Солнца на том же расстоянии, что и Луна, у него бы не было атмосферы. При низких температурах средней части Солнечной системы он смог ее удержать. Возможно, что другие большие спутники, находящиеся еще дальше от Солнца, — спутник Нептуна Тритон и четыре больших спутника Юпитера — Ио, Ганимед, Европа и Каллисто — могут иметь какую-то тонкую атмосферу, но она еще не была определена. На настоящий момент Титан остается единственным среди спутников планетной системы, имеющим атмосферу.

Наличие у Земли атмосферы — это сильный аргумент против теории, что Земля и другие планеты возникли в результате какого-то катастрофического происшествия, к примеру близкого прохождения около нашего Солнца другой звезды. Скорее верна другая теория — что планеты образовались из пылевого облака. По мере того как пыль и газ из облаков сгущались в небольшие образования, а те принимали вид планет, газ оказывался заключенным внутри твердого вещества подобно воздушным пузырькам во льду. Вызванное затем силой тяготения уплотнение вещества могло вытеснить газы по направлению к поверхности. Наличие

газа в Земле зависело от его способности вступать в химическую реакцию. Гелий и неон, хотя они и относились к наиболее распространенным газам в первоначальном облаке, так инертны химически, что они не вступают в соединения и довольно быстро покидают Землю. Именно потому концентрация гелия и неона на Земле гораздо меньше их концентрации в окружающей Вселенной. К примеру, было подсчитано, что на Земле остался только один из каждых 50 миллиардов атомов неона, что присутствовал в первоначальном облаке, а из первоначального числа атомов гелия в атмосфере осталось даже еще меньше. И даже оставшиеся атомы могут быть результатом распада радиоактивных элементов и утечки из подземных полостей с газом.

В то же время водород, хотя он и легче гелия или неона, захватывается более эффективно, поскольку вступает в реакции с другими веществами, особенно с кислородом, с которым формирует воду. Было оценено, что Земля до настоящего времени сохранила один из каждых 5 миллионов атомов водорода, что присутствовали в первоначальном облаке.

Азот и кислород иллюстрируют химический аспект даже более показательно. Хотя молекулы азота и кислорода примерно одинаковы по массе, Земля сохранила 1 из 6 атомов очень хорошо вступающего в реакции кислорода, но только 1 из 800 000 атомов инертного азота.

Когда мы говорим о газах в атмосфере, мы должны включать сюда водяные пары, и здесь мы приходим к интересному вопросу — как образовались океаны. На ранних стадиях истории Земли, даже если на ней было не очень тепло, вся вода должна была находиться в форме пара. Некоторые геологи полагают, что вся вода в те времена находилась в атмосфере в густых облаках и, после того как Земля охладилась, она выпала ливнями, чтобы сформировать океаны. С другой стороны, некоторые геологи утверждают, что наши океаны возникли главным образом из вод, поднявшихся из недр Земли. Вулканы показывают, что до сих пор в земной коре находится много воды, поскольку газы, которые они выпускают, по большей части состоят из водяных паров. Если эта теория верна, то океаны могут до сих пор расти, хотя и медленно.

Но была ли земная атмосфера после своего возникновения всегда такой, как в наши дни? Вряд ли, по следующей причине: молекулярный кислород, который составляет одну пятую объема атмосферы, является столь активной субстанцией, что его наличие в свободной форме маловероятно, если только его постоянно не производить. Более того, ни на одной другой планете нет атмосферы, похожей на нашу, земную, так что возникает искушение сделать вывод, что земная атмосфера является результатом уникального сочетания обстоятельств (как, к примеру, наличие на планете жизни, чего нет на других планетах).

Гарольд Ури выдвинул подробное доказательство в пользу гипотезы, что первоначально атмосфера состояла из аммиака и метана. Водород, гелий, углерод, азот и кислород являются преобладающими элементами во Вселенной, причем водород наиболее распространен. При подобном преобладании водорода углерод с водородом, по всей видимости, образовывали метан (CH_4), азот с водородом образовывали аммиак (NH_3), а кислород с водородом составляли воду (H_2O). Гелий и избыточный водород, конечно, покидали атмосферу. Вода формировала океаны; метан и аммиак, как сравнительно тяжелые газы, удерживались силой земного тяготения и потому составляли главную часть атмосферы.

Если бы даже все планеты имели достаточное тяготение для удержания атмосферы, то атмосферу такого типа все равно было бы невозможно удержать. Ультрафиолетовое излучение от Солнца непременно привело бы к изменениям. Эти изменения были бы минимальными для дальних планет, которые получили бы сравнительно мало солнечного излучения, к тому же сильно ослабленного верхними слоями обширной атмосферы. По этой причине дальние планеты сохраняют атмосферу из водорода, гелия, аммиака и метана по сей день.

Но с ближними к Солнцу мирами — Марсом, Землей, Луной, Венерой и Меркурием — дело обстоит иначе. Из них Луна и Меркурий либо слишком малы, либо слишком горячи — или и то и другое, — чтобы у них осталась какая-либо существенная атмосфера. Остаются Марс, Земля и Венера, атмосфера которых поначалу состояла по большей части из аммиака. Что же произошло потом?

Ультрафиолетовое излучение, ударяя по молекулам воды в верхних слоях атмосферы, разделяло их на водород и кислород («фотодиссоциация»). Водород покидал атмосферу, оставляя свободным кислород. Однако молекулы кислорода активно вступают в реакции с почти любыми другими молекулами, что имелись в атмосфере. При реакции с метаном (CH_4) получалась двуокись углерода (CO_2) и вода (H_2O). Кислород также вступал в реакцию с аммиаком (NH_3), отчего получались азот (N_2) и вода.

Очень медленно, но неуклонно, атмосфера изменяла свой состав от метана и аммиака к азоту и двуокиси углерода. Азот имеет склонность медленно реагировать с минералами земной коры для формирования нитратов, в результате чего двуокись углерода становится главной составляющей атмосферы.

Однако продолжит ли вода фотодиссоциацию? Продолжит ли водород уходить в космос, а кислород накапливаться в атмосфере? И если кислород и в самом деле накапливается и нет ничего, с чем бы он смог прореагировать (поскольку он не может больше реагировать с двуокисью углерода), тогда не добавит ли это какую-то часть молекулярного кислорода к уже имеющейся оки-

си углерода (таким образом увеличивая количество кислорода в земной атмосфере)? Ответ звучит следующим образом: нет!

После того как двуокись углерода стала главной составляющей атмосферы, ультрафиолетовое излучение не вызывает дальнейшее изменение через диссоциацию молекул воды. Когда кислород начинает собираться в свободной форме, в верхних слоях атмосферы начинает формироваться тонкий озоновый слой. Он поглощает ультрафиолет, не пропуская ультрафиолет в нижние слои и не допуская дальнейшей фотодиссоциации. Атмосфера из двуокиси углерода становится стабильной.

Но двуокись углерода приводит к возникновению парникового эффекта (как было указано ранее). Если атмосфера из двуокиси углерода тонка и если она относительно далека от Солнца, эффект незначителен. Примером может быть Марс. Его атмосфера, состоящая главным образом из двуокиси углерода, тоньше, чем атмосфера на Земле, — насколько тоньше, не было понято до тех пор, пока направленный к Марсу американский зонд «Маринер-4» не прошел в непосредственной близости от Марса в июле 1965 года. Мы теперь знаем, что атмосфера Марса имеет плотность не больше $1/100$ плотности Земли.

Однако предположим, что у какой-то планеты атмосфера примерно такая, как у Земли, и эта планета находится так же близко к Солнцу (или ближе). Парниковый эффект будет очень велик: температура поднимется, превращая океаны в пар. Водяной пар добавит парниковый эффект, ускорит изменения, вызовет появление в воздухе еще большего количества двуокиси углерода из-за воздействия температуры на кору планеты. В конце концов планета станет очень горячей, вся ее вода перейдет в атмосферу в виде паров, которые навсегда укроют ее поверхность под облаками, и на планете будет существовать очень густая атмосфера из двуокиси углерода.

Именно это и произошло с Венерой. Американский зонд, направленный к Венере, прошел мимо Венеры в декабре 1962 года и подтвердил более ранние выводы, сделанные на основе радиоизлучения из атмосферы Венеры, что Венера значительно горячее, чем это можно было предполагать по ее расстоянию от Солнца. Советский Союз начиная с 1967 года послал серию зондов в атмосферу Венеры. В 1970 году удалось посадить зонд на поверхность Венеры с работающими приборами (температура и давление быстро выводят из строя приборы). Как оказалось, температура на поверхности Венеры составляет 500 °C, что способно раскалить докрасна, а атмосфера по большей части состоит из двуокиси углерода и в 100 раз плотнее земной.

Земля не перемещалась в направлении орбит Марса или Венеры. Содержащийся в атмосфере азот не перешел в земную кору, оставив в атмосфере только холодный ветер из двуокиси углерода. Не было на Земле и парникового эффекта, который превратил бы

ее поверхность в ужасающую жаркую пустыню. И потому на Земле произошло что-то необычное — и это что-то было жизнью, даже когда атмосфера все еще состояла из аммиака и метана.

Жизнь в океанах Земли привела к тому, что те соединения, в которых находился азот, высвободили этот газ и он стал присутствовать в атмосфере в больших количествах. Более того, живые клетки скоро обрели возможность разъединять молекулы воды на водород и кислород, используя энергию *видимого* света, который не блокируется озоном. Водород стал комбинироваться с двуокисью углерода для получения сложных молекул, из которых стали формироваться живые клетки; при этом кислород освобождался в атмосферу. Таким образом, благодаря появлению жизни атмосфера Земли изменила свой состав с азота и двуокиси углерода на азот и кислород. Парниковый эффект был сведен до минимума, Земля осталась холодной, способной сохранить свои уникальные обширные океаны с водой и атмосферу с большим содержанием свободного кислорода.

Фактически наша насыщенная кислородом атмосфера существует у Земли только на протяжении одной десятой времени существования Земли, и даже всего 600 миллионов лет назад кислорода было в ней всего одна десятая его нынешнего количества.

Но сейчас мы имеем этот кислород, и мы должны быть благодарны жизни, которая сделала возможным существование свободного атмосферного кислорода, и за жизнь, которую такой свободный кислород сделал возможной.

Глава 5 ЭЛЕМЕНТЫ

Периодическая таблица

Древнегреческие философы считали, что Земля построена всего из нескольких «первозлементов». Эмпедокл из Акраганта, живший примерно в 430 году до нашей эры, определил четверку таких элементов-стихий: земля, воздух, вода и огонь. Столетие спустя Аристотель ввел небесный элемент — *эфир*. Последователями греков в изучении материи стали средневековые алхимики, которые сделали новые выводы о свойствах вещества. Пытаясь объяснить различия веществ, они привязывали их свойства к определенным «главенствующим» элементам, которые добавили в первоначальный список элементов-стихий. Ртуть, по их мнению, определяет металлические качества вещества, а сера — его горючесть. Один из последних и самых выдающихся алхимиков — швейцарский врач и аптекарь XVI века Т. фон Гогенгейм, больше известный как Парацельс — добавил туда же соль как олицетворение негорючести.

Алхимики утверждали, что одно вещество можно превратить в другое, добавляя или удаляя из него нужные элементы в нужной пропорции. Свинец можно превратить в золото, добавив столько ртути. Поиски «верных» способов превращения «базовых металлов» в золото затянулись на несколько веков. В своих опытах алхимики неожиданно открыли новые вещества, причем более значимые, чем золото: минеральные кислоты и фосфор.

Минеральные кислоты — азотная, соляная и особенно серная — привели к подлинной революции в алхимических лабораториях. Эти кислоты оказались намного более сильными, чем самая известная до этого уксусная кислота, с их помощью вещества можно было разложить быстрее и без сильного нагрева. В наши дни без минеральных кислот, особенно серной, химическая промышленность просто немыслима. Более того, уровень промышленного развития страны определяется ежегодным потреблением серной кислоты.

Немногие алхимики обратили должное внимание именно на эти важные стороны алхимических опытов, для большинства главным было получение золота. Нечистые на руку, они часто шли на прямой подлог и мошенничество, чтобы выудить у меценатов деньги, которые теперь мы называем исследовательскими грантами. В результате само слово «алхимик» стало символом жульничества, поэтому к XVII веку эта наука стала называться *химия*.

На заре рождения новой науки одним из ее лидеров стал англичанин Р. Бойль, автор закона о расширении газов (см. главу 4). В своей книге «Скептический химик», опубликованной в 1661 году, Бойль по-новому сформулировал понятие «элемент»: вещество-основа, которое может соединяться с другими элементами, образуя «соединения», и которое, будучи выделено из такого соединения, не может быть разложено ни на какие более простые вещества.

И все же Бойль остался верен средневековому взгляду на природу элементов. Например, он считал, что золото не является подлинным элементом и его можно получить из других металлов. Такой же позиции придерживался его современник и земляк Исаак Ньютон, потративший немало времени на алхимические опыты. Трудно поверить, но император Австро-Венгрии Франц-Иосиф выделял деньги на эксперименты по получению золота вплоть до 1867 года.

Через столетие после Бойля практическая химия стала постепенно выяснять, какие соединения можно разложить на более простые вещества, а какие — нет. Г. Кавендиш показал, что водород, соединяясь с кислородом, образует воду, поэтому вода не является элементом, как считалось с античных времен. Позднее Лавуазье обнаружил, что воздух состоит из кислорода и азота. И стало ясно, что ни один из древнегреческих «элементов-стихий» не является элементом по критерию Бойля.

Из тех элементов, которыми в своих опытах и рассуждениях чаще всего оперировали алхимики, истинными оказались ртуть и сера. Но также выяснилось, что элементами являются считавшиеся «сложными» металлы: железо, олово, свинец, медь, серебро, золото, а также неметаллы: фосфор, углерод и мышьяк. Соль, предложенную Парацельсом в качестве «первозлемента», удалось разложить на более простые вещества.

Само определение элемента менялось по ходу развития химии. До тех пор пока вещество не удавалось разложить на составляющие, оно считалось элементом. В список Лавуазье из 33 элементов входили такие вещества, как известь и магнезия. Лишь через 14 лет после гибели Лавуазье на гильотине во время французской революции английский химик Х. Дэви с помощью электрического тока сумел разложить два этих вещества соответственно на кислород и новый элемент кальций, а также на кислород и прежде неизвестный магний. Он также доказал, что зеленоватый газ, который ранее получил из соляной кислоты его шведский коллега К. Шееле, является не соединением соляной кислоты с кислородом (как считалось ранее), а чистым элементом, который получил название хлор (по-гречески «зеленый»).

В начале XIX века английский химик Д. Дальтон предложил абсолютно по-новому взглянуть на элементы. Любопытно, что его подход во многом перекликался со взглядами древнегреческих мыслителей, которые выдвинули много важных и целостных идей, касающихся строения материи.

Греки задумывались над вопросом, является ли материя непрерывной или дискретной, то есть состоящей из отдельных частей. Как долго ее можно делить на все более мелкие частички, которые меньше пыли и в конце концов невидимы человеческим глазом. Первыми о дискретности материи еще в 450 году до нашей эры заявили Левкипп из Милета и его ученик Демокрит из Абдеры. Именно Демокрит назвал эти частицы *атомами* (что значит «неделимые»). Он даже высказал идею, что различные вещества состоят из различных сочетаний атомов и что одно вещество можно превратить в другое, меняя эти комбинации. Необходимо отдать должное необычайной проницательности и остроте ума античных мыслителей. Хотя выдвинутая ими идея сейчас воспринимается как само собой разумеющаяся, она не выглядела столь бесспорной в те далекие времена и ее отвергали даже такие выдающиеся философы, как Платон и Аристотель.

Дальнейшее развитие эти взгляды получили в учении Эпикура из Самоса (жившего около 300 года до нашей эры), который основал философскую школу. Одним из видных эпикурейцев был римский философ Лукреций, который примерно в 60 году до нашей эры в большой поэме «О природе вещей» сформулировал

развернутое представление об атомах. Эта поэма, дожившая до Средних веков, стала одним из первых печатных произведений той эпохи.

С того времени представление об атомах занимало умы европейских мыслителей и ученых. Наиболее значительные работы в этой области принадлежали итальянскому монаху-философу Джордано Бруно, а также его французскому коллеге П. Гассенди. Бруно выдвинул ряд неординарных научных идей, в том числе о бесконечности Вселенной и планетах, вращающихся вокруг Солнца, самоотверженно отстаивая свои дерзновенные взгляды. За это в 1600 году — по приговору священной инквизиции — он был объявлен еретиком и сожжен на костре, принеся свою жизнь в жертву науке. Советские ученые назвали его именем один из кратеров на обратной стороне Луны.

Идеи Гассенди оказали огромное впечатление на британского ученого Бойля, опыты которого показали, что газы легко сжимаются и расширяются. Это означало, что газы состоят из отдельных, удаленных друг от друга частиц. Бойль и Ньютон были в XVII веке убежденными сторонниками атомистического строения материи.

Дальтон показал, что различные законы поведения газов можно объяснить, исходя из корпускулярного строения вещества. Он использовал термин «атомы», признавая приоритет Демокрита. Согласно взглядам Дальтона, каждому элементу соответствует определенный вид атомов, а любое количество элемента представляет набор одинаковых атомов определенного типа. Один элемент от другого отличается именно природой составляющих их атомов. А физическое различие атомов определяется в первую очередь их весами. Так, атомы серы тяжелее атомов кислорода, которые, в свою очередь, тяжелее атомов азота, те тяжелее атомов углерода, а вес последних превышает вес атомов водорода.

Итальянский химик А. Авогадро применил атомную теорию к объяснению поведения газов, предположив, что равные объемы газов любого вида состоят из одинакового числа частиц. Эта идея получила название гипотеза Авогадро. Вначале он определил эти частицы как единичные атомы, но в дальнейшем оказалось, что в большинстве случаев они состоят из нескольких атомов, и такие группы получили название *молекула*. Молекула, состоящая из различных атомов (как, например, молекула воды, в состав которой входят два атома водорода и один атом кислорода), представляет собой химическое соединение.

Поэтому важно точно измерять относительные веса различных атомов — иначе говоря, определение атомных весов элементов. Прямое взвешивание суперлегких по своей природе атомов в XIX веке было неосуществимо. Но исходя из результатов взвешивания определенного количества чистого элемента, выделенного из химического соединения, и его химических свойств,

оказалось возможным определять относительные веса атомов. Первым, кто решил эту задачу, стал шведский химик Й. Берцелиус. В 1828 году он опубликовал список атомных весов, определенных по двум стандартам: исходя из относительного атомного веса кислорода, равного 100, и на базе атомного веса водорода, принятого за 1.

Представленные Берцелиусом результаты не сразу привлекли должное внимание коллег, но в 1860 году на Первом международном химическом конгрессе в Карлсруэ (Германия) итальянский химик С. Канниццаро предложил новую методику измерения атомных весов на основе гипотезы Авогадро, на которую до того не обращали особого внимания. Убедительно изложив свою теорию, Канниццаро добился признания участников конгресса.

В качестве стандарта предпочтение было отдано кислороду, а не водороду, поскольку кислород намного легче образует химические соединения с разными элементами (ведь основой традиционной методики определения атомных весов являлись именно комбинации с другими элементами). По предложению бельгийского химика Ж. Стаса в 1850 году относительный атомный вес кислорода был принят за 16; в результате атомный вес самого легкого элемента, водорода, оказался равен 1,0080.

После выступления Канниццаро химики все больше внимания стали уделять атомным весам элементов и повышению точности их измерения. Наибольших успехов в этом деле достиг американский ученый Т. Ричардс, который к 1904 году, пользуясь чисто химическими методами, установил атомные веса с невероятной до того точностью. За свои достижения он был удостоен Нобелевской премии по химии в 1914 году. В дальнейшем, на основе новых представлений о строении атома, Ричардс сумел еще больше уточнить полученные ранее значения.

Однако в XIX веке, несмотря на множество работ, подтверждавших существование атомов и молекул, отсутствовали прямые доказательства того, что эти понятия являются не просто удобной формой представления, а вполне реальны. Некоторые весьма известные ученые того времени — в частности, немецкий химик В. Оствальд — отказывались признавать этот факт, считая атомно-молекулярные представления всего лишь удобной абстрактной моделью.

Реальное существование молекул было доказано на примере броуновского движения. Этот эффект первым описал шотландский ботаник Р. Броун, наблюдавший беспорядочное перемещение частичек цветочной пыльцы на поверхности воды. Вначале решили, что такое хаотическое движение связано с характерными для пыльцы жизненными процессами, однако позднее оказалось, что аналогичный эффект наблюдается и в случае использования микрочастиц заведомо неживой материи различных красителей.

В 1863 году впервые предположили, что это движение вызвано неравномерными толчками со стороны окружающих микро-частицы молекул воды. В случае крупных объектов незначительное различие в количестве и силе этих толчков с разных сторон практически незаметно. Но микроскопические объекты, которые испытывают одновременные удары нескольких сотен молекул, более чувствительны к такому воздействию и начинают совершать хаотические «танцы». Беспорядочное движение мелких частиц представляет наглядное доказательство «дробного» строения воды и материи вообще.

Эйнштейн, занимавшийся теоретическим анализом броуновского движения, разработал способ оценки размеров молекул воды на основе измерения интенсивности «скачков» микрочастиц красителя. В 1908 году французский физик Ж. Перрен исследовал, каким образом частицы осаждаются на дно сосуда с водой под действием гравитации. Этому процессу препятствовало противоположное по направлению броуновское движение частиц. Пользуясь формулой Эйнштейна, Перрен сумел вычислить размер молекул воды, так что даже Оствальд был вынужден признать справедливость его расчетов. За свои исследования Перрен был удостоен Нобелевской премии по физике за 1926 год.

Так атомы превратились из полумистического абстрактного понятия в почти осязаемые и вполне реальные объекты. А в XX веке человек сумел воочию «разглядеть» атом. Первым это сделал в 1955 году американский ученый Э. Мюллер с помощью «ионно-эмиссионного микроскопа». В этом приборе поток положительно заряженных ионов, испускаемых очень тонкой иглой, попадает на флуоресцентный экран, где проецируется увеличенное в 5 миллионов раз изображение кончика этой иглы. В результате отдельные атомы, из которых состоит материал источника излучения, приобретают вид небольших, но вполне различимых пятен. Этот метод позволяет разглядеть даже единичные атомы. В 1970 году американский физик А. Кру сообщил об обнаружении отдельных атомов урана и тория с помощью усовершенствованного им сканирующего электронного микроскопа.

По мере того как на протяжении всего XIX века список открытых элементов неуклонно пополнялся, у химиков усиливалось ощущение, что они углубляются в непроходимые джунгли. Каждый элемент обладал своими характерными свойствами, но никак не удавалось разглядеть общую закономерность. Поскольку задача науки — находить в кажущемся беспорядке существенную закономерность, ученые старались отыскать общие свойства в характеристиках отдельных элементов.

Уже в 1862 году, когда Канницаро выступил со своим знаменитым докладом о роли атомных весов элементов, как важней-

шем химическом инструменте, французский геолог А. де Шанкуртуа установил, что элементы можно разместить в порядке возрастания атомных весов в специальной таблице, причем в вертикальные столбцы попадают элементы со сходными свойствами. Независимо от него два года спустя к тому же выводу пришел и британский химик Д. Ньюлендс. Однако в обоих случаях это открытие осталось незамеченным или воспринято как забавное совпадение. Научная общественность еще не была готова к принятию подобной гипотезы. Лишь много лет спустя, когда истинное значение периодической таблицы стало общепризнанным, их работы были, наконец, опубликованы. Ньюлендс был даже удостоен медали.

Честь первооткрывателя, наведшего окончательный порядок в «джунглях» химических элементов, принадлежит русскому химику Дмитрию Ивановичу Менделееву. В 1869 году он и немецкий ученый Л. Мейер предложили свои варианты таблицы элементов, основанные на сделанных ранее догадках де Шанкуртуа и Ньюлендса. Признание получила именно таблица Менделеева, который не только проявил смелость и умение при доказательстве своих взглядов, но и развил их дальше своих коллег.

Во-первых, периодическая таблица Менделеева (названная так за периодическое чередование элементов со сходными химическими свойствами) имела более сложный вид, чем аналогичная таблица Ньюлендса, и более сходную форму с той, которая повсеместно принята в наше время. Во-вторых, когда свойства того или иного элемента заставляли Менделеева помещать элемент вне принятой последовательности атомных весов, он смело шел на изменение формального порядка, исходя из определяющей роли химических свойств, а не атомного веса. И всякий раз он оказывался абсолютно прав. Скажем, теллур, имевший атомный вес 127,61, по величине своего веса должен стоять после йода, чей атомный вес 126,91. Но Менделеев разместил его перед йодом, в колонке под селеном, который имеет сходные с теллуром свойства, а йод оказался под родственным ему бромом.

И самое важное: там, где в таблице не хватало элементов для заполнения ячеек, Менделеев, не колеблясь, оставил свободные места, дерзко предвосхитив будущие открытия новых элементов. При этом он пошел еще дальше и, основываясь на свойствах соседей по периодической таблице, довольно точно описал три элемента, которым предстояло занять свободные ячейки. Здесь ему сопутствовала явная удача. Все предсказанные им элементы были открыты еще при его жизни, и он дожил до триумфа своей Периодической системы. В 1875 году француз Л. де Буабодран открыл первый из этой триады элементов, получивший имя галлий (в честь латинского названия Франции). В 1879 году шведский химик Л. Нильсон обнаружил и описал второй элемент, названный скандий (в честь Скандинавии). Наконец, в 1886 году немецкий ученый К. Винклер

выделил третий элемент, назвав его германий (разумеется, в честь родины автора открытия). Все три элемента имели практически те свойства, которые предсказал Менделеев!

С открытием рентгеновских лучей в истории периодической таблицы наступила новая эпоха. В 1911 году британский физик Ч. Баркла обнаружил, что металлы способны рассеивать рентгеновские лучи, проникающая способность которых (жесткость) четко определяется для каждого металла. Другими словами, каждый элемент производит свои «характеристические рентгеновские лучи». За это открытие Баркла был удостоен Нобелевской премии по физике за 1917 год.

Периодическая таблица элементов. Затененные ячейки представляют два ряда редкоземельных элементов: лантаниды и актиниды, названные так по имени своих первых членов. Число в нижнем правом углу каждой ячейки указывает атомный вес элемента. Звездочкой обозначены радиоактивные элементы. Атомный номер каждого элемента указан в центре над его названием

1 Hydrogen (H) 1.008								
3 Lithium (Li) 6.939	4 Beryllium (Be) 9.012							
11 Sodium (Na) 22.990	12 Magnesium (Mg) 24.312							
19 Potassium (K) 39.102	20 Calcium (Ca) 40.08	21 Scandium (Sc) 44.956	22 Titanium (Ti) 47.90	23 Vanadium (V) 50.942	24 Chromium (Cr) 51.996	25 Manganese (Mn) 54.938	26 Iron (Fe) 55.847	27 Cobalt (Co) 58.933
37 Rubidium (Rb) 85.47	38 Strontium (Sr) 87.62	39 Yttrium (Y) 88.905	40 Zirconium (Zr) 91.22	41 Niobium (Nb) 92.906	42 Molybdenum (Mo) 95.94	43* Technetium (Tc) 98.91	44 Ruthenium (Ru) 101.07	45 Rhodium (Rh) 102.905
55 Cesium (Cs) 132.905	56 Barium (Ba) 137.34	57 Lanthanum (La) 138.91	58 Cerium (Ce) 140.12	59 Praseodymium (Pr) 140.907	60 Neodymium (Nd) 144.24	61* Promethium (Pm) 145	62 Samarium (Sm) 150.35	63 Europium (Eu) 151.96
			72 Hafnium (Hf) 178.49	73 Tantalum (Ta) 180.948	74 Tungsten (W) 183.85	75 Rhenium (Re) 186.2	76 Osmium (Os) 190.2	77 Iridium (Ir) 192.2
87* Francium (Fr) 223	88* Radium (Ra) 226.05	89* Actinium (Ac) 227	90* Thorium (Th) 232.038	91* Protactinium (Pa) 231	92* Uranium (U) 238.03	93* Neptunium (Np) 237	94* Plutonium (Pu) 242	95* Americium (Am) 243
			104* Rutherfordium (Rf) 259	105* Dubnium (Db) 260				

В отношении рентгеновских лучей имелся один важный вопрос: является ли это излучение потоком микрочастиц или же имеет волновую природу, наподобие световых лучей? Один из способов проверки заключался в изучении дифракции рентгеновских лучей (то есть отклонении потока) при прохождении через дифракционные решетки, образуемые тонкими насечками. Однако, чтобы получить достоверный результат, расстояние между этими насечками должно быть сопоставимо с длиной волн рентгеновского излучения. Судя по результатам опытов, рентгеновское излучение обладало более сильной проникающей способностью, чем видимый свет, поэтому и рентгеновские волны должны быть существенно короче.

								2 Helium (He) 4.003					
								5 Boron (B) 10.811	6 Carbon (C) 12.011	7 Nitrogen (N) 14.007	8 Oxygen (O) 15.999	9 Fluorine (F) 18.998	10 Neon (Ne) 20.183
								13 Aluminium (Al) 26.982	14 Silicon (Si) 28.086	15 Phosphorus (P) 30.974	16 Sulfur (S) 32.064	17 Chlorine (Cl) 35.453	18 Argon (Ar) 39.948
28 Nickel (Ni) 58.71	29 Copper (Cu) 63.54	30 Zinc (Zn) 65.37	31 Gallium (Ga) 69.72	32 Germanium (Ge) 72.59	33 Arsenic (As) 74.922	34 Selenium (Se) 78.96	35 Bromine (Br) 79.909	36 Krypton (Kr) 83.80					
46 Palladium (Pd) 106.4	47 Silver (Ag) 107.870	48 Cadmium (Cd) 112.40	49 Indium (In) 114.82	50 Tin (Sn) 118.69	51 Antimony (Sb) 121.75	52 Tellurium (Te) 127.60	53 Iodine (I) 126.904	54 Xenon (Xe) 131.30					
64 Gadolinium (Gd) 157.25	65 Terbium (Tb) 158.924	66 Dysprosium (Dy) 162.50	67 Holmium (Ho) 164.930	68 Erbium (Er) 167.26	69 Thulium (Tm) 168.934	70 Ytterbium (Yb) 173.04	71 Lutetium (Lu) 174.97						
78 Platinum (Pt) 195.09	79 Gold (Au) 196.967	80 Mercury (Hg) 200.59	81 Thallium (Tl) 204.37	82 Lead (Pb) 207.19	83 Bismuth (Bi) 208.98	84* Polonium (Po) 210	85* Astatine (At) 210	86* Radium (Ra) 222					
96* Curium (Cm) 244	97* Berkelium (Bk) 245	98* Californium (Cf) 246	99* Einsteinium (Es) 252	100* Fermium (Fm) 255	101* Mendelevium (Md) 258	102* Nobelium (No) 255	103* Lawrencium (Lr) 257						

А следовательно, обычные дифракционные решетки для этого случая не годились.

Однако немецкий физик М. Лауэ предположил, что в случае рентгеновских лучей роль естественной дифракционной решетки могут играть кристаллы, имеющие регулярное решеточное строение, причем намного тоньше созданных человеческой рукой. Твердые кристаллы обладают четкой геометрической формой с характерной симметрией и гранями, расположенными под строго определенными углами. Регулярное строение кристаллов определено упорядоченным расположением атомов в узлах решетки. Если допустить, что расстояние между слоями атомов сопоставимо по величине с длиной рентгеновских волн, то с их помощью вполне можно получить дифракционную картину.

В результате проведенных экспериментов М. Лауэ установил, что, проходя через кристалл, рентгеновские лучи и в самом деле отклоняются и дают дифракционную картину, которую можно зафиксировать на фотопластинке. Тем самым были подтверждены волновые свойства рентгеновских лучей. В том же году его английский коллега В.Л. Брэгг вместе со своим знаменитым отцом В.Г. Брэггом разработал точный метод расчета длин волн различных типов рентгеновских лучей на основе их дифракции. В свою очередь, дифракционные диаграммы можно использовать для определения точного расположения соответствующих атомных слоев. Тем самым рентгеновские лучи открыли дверь к новому пониманию атомной структуры кристаллов. В 1914 году М. Лауэ был удостоен Нобелевской премии по физике, а в 1915 году такую же награду получили отец и сын Брэгг.

В 1914 году молодой английский физик Г. Мозли, измерив длины волн характеристических рентгеновских лучей различных металлов, сделал важное открытие: оказалось, что соответствующая длина волны уменьшается с ростом атомного номера элемента, причем эти изменения соответствуют периодической таблице.

Проведенные измерения позволили поместить каждый элемент в отведенную для него ячейку таблицы элементов. Скажем, если различие в длинах волн двух соседних элементов в 3 раза превышало расчетное значение, это означало, что между ними расположены еще два неизвестных пока элемента. Если же эта разница точно соответствует расчетной, можно уверенно говорить об отсутствии каких-либо пропусков между элементами.

Теперь у каждого элемента появился свой атомный номер. До этого существовала опасность, что любое новое открытие ломает ранее установленный порядок расположения элементов и всю систему придется выстраивать по-новому. Тем самым была исключена вероятность появления неожиданных пропусков в таблице.

Химики присвоили всем элементам номера от 1 (водород) до 92 (уран). С точки зрения внутреннего строения атомов эти атом-

ные номера оказались крайне важными параметрами (см. главу 6) и даже более значимыми по сравнению с атомными весами. Например, изучение рентгеновских лучей подтвердило правоту Менделеева, поместившего теллур (атомный номер 52) перед йодом (номер 53), несмотря на меньший атомный вес последнего.

Предложенная Мозли систематизация элементов практически сразу доказала свою обоснованность и полезность. Так, французский химик Ж. Урбен сразу после открытия нового редкоземельного элемента лютеция (названного в честь древнего латинского названия Парижа) сообщил, что им получен следующий элемент, кельтий. Согласно системе Мозли, лютеций имел атомный номер 71, тогда кельтий должен был получить номер 72. Однако измерения показали, что пресловутый кельтий имеет точно такую же частоту рентгеновского излучения, что и лютеций. Элемент под номером 72 был выделен лишь в 1923 году совместно датским физиком Д. Костером и венгерским химиком Ж. Гевеши в Копенгагене, в честь латинского названия которого получил свое имя гафний.

Мозли не успел получить награду за свое выдающееся открытие, поскольку был убит в 1915 году во время Первой мировой войны. Из-за ранней смерти, в возрасте 28 лет, он не был удостоен заслуженной Нобелевской премии. Но его работы продолжил шведский физик К. Сигбан, изучивший рентгеновские спектры нескольких новых элементов и удостоенный за это Нобелевской премии по физике за 1924 год.

В 1925 году в Германии В. Ноддак, И. Такке и О. Берг заполнили еще один пропуск в периодической таблице. После целенаправленных трехгодичных исследований полиметаллических руд они выделили и описали элемент под номером 75, названный ими рением (в честь реки Рейн). Таким образом, в таблице осталось всего четыре не заполненные элементами ячейки: номера 43, 61, 85 и 87.

На заполнение этих пустых клеток ушло еще два десятилетия. Химики еще не осознавали, что рений является последним стабильным элементом. Оставшиеся элементы представляют собой радиоактивные вещества, которых на Земле практически не существует, а получить их можно только искусственным путем в лаборатории. Об этом и пойдет наш дальнейший рассказ.

Радиоактивные элементы

После открытия рентгеновских лучей многие ученые энергично приступили к изучению нового типа излучения, отличающегося чрезвычайно высокой проникающей способностью. Среди них был и французский физик Антуан Анри Беккерель. Его отец Александр Эдмон (сумевший первым сфотографировать солнеч-

ный спектр) особый интерес проявлял к *флуоресценции*, которая проявляется в форме видимого свечения некоторых веществ в результате их облучения солнечным ультрафиолетом.

Беккерель-старший, в частности, исследовал такое хорошо флуоресцирующее соединение, как уранил-сульфат калия (в состав которого, естественно, входили атомы урана). Его сына заинтересовал вопрос: имеются ли в спектре флуоресценции уранил-сульфата рентгеновские лучи? Придуманный им способ проверить гипотезу состоял в том, чтобы поместить образец исходного соединения на фотопластинку, завернутую в черную непрозрачную бумагу и затем выставить его на солнце (чей ультрафиолет должен инициировать процесс флуоресценции). Поскольку сам солнечный свет сквозь черную бумагу не проникает, он не может напрямую засветить фотопластинку, однако в случае вторичного рентгеновского излучения (в результате флуоресценции) пластинка должна засветиться и потемнеть. Проведя свой опыт в 1896 году, Беккерель-младший получил положительные результаты. И вначале ученый посчитал, что причиной потемнения фотопластинки явилось именно рентгеновское излучение. Установив, кроме прочего, что это вторичное излучение проникает через алюминиевую и медную фольгу, Беккерель решил, что вопрос можно считать закрытым, тем более что другое столь жесткое излучение к тому времени было еще неизвестно.

Однако позднее благодаря удачному стечению обстоятельств результаты проведенного эксперимента оказались не столь однозначными и «покрылись туманом». В ожидании очередного солнечного дня Беккерель убрал завернутые фотопластинки — вместе с оставшимися на них крошками уранил-сульфата — в ящик письменного стола. Через несколько дней он не вытерпел и решил на всякий случай проявить эти фотопластинки, чтобы проверить, не может ли вторичное рентгеновское излучение возникнуть даже без облучения образца на солнце. Увидев проявленные пластинки, Беккерель испытал один из тех волнующих моментов одновременного восторга и удивления, о которых мечтает любой настоящий ученый. В результате сильного облучения фотопластинки почти полностью почернели! И причиной этого было нечто иное, чем просто флуоресценция. Беккерель предположил (опыты быстро это подтвердили), что этим нечто было излучение урана из уранил-сульфата калия.

Совершенное французом открытие возбудило ученый мир, который лишь недавно пережил подобное волнение от открытия рентгеновских лучей. Одним из ученых, которые с ходу взялись за изучение неизвестного типа излучения, была М. Склодовская, полька по происхождению, недавно вышедшая замуж за французского физика П. Кюри, изобретателя одноименной температурной шкалы (см. главу 4).

Вместе со своим братом Жаком Пьер Кюри обнаружил, что некоторые кристаллы под действием давления поляризуются, накапливая положительный заряд на одном конце и отрицательный — на другом. Это явление получило название *пьезоэлектричество* (от греческого слова «давить»). С помощью этого эффекта М. Кюри решила измерить радиацию урана. Она создала лабораторную установку, в которой за счет излучения урана ионизировалось воздушное пространство между двумя электродами, в результате чего в цепи возникал слабый электрический ток, который можно было измерить по величине давления, приложенного к кристаллу с целью вызвать равный по силе противоток. Разработанный ею метод обеспечил настолько интересные результаты, что П. Кюри прекратил собственные опыты, став усердным помощником жены.

Предложив для описания способности урана к излучению термин «радиоактивность», М. Кюри вскоре принялась за исследование следующего радиоактивного элемента, тория. За довольно короткое время важные открытия в этой области были сделаны и ее коллегами. Часть радиоактивного излучения, по своей энергии и проникающей способности превосходящего даже рентгеновские лучи, получила название *гамма-излучение*. Оказалось, что одновременно радиоактивные элементы излучают и другие типы лучей, что пролило новый свет на внутреннее строение атомов, но это будет уже предметом другой главы (см. главу 6). В данном же случае для нас наибольшее значение имеет способность радиоактивных элементов под действием радиоактивного излучения превращаться в другие элементы.

Первой, причем совершенно случайно, с этим явлением столкнулась М. Кюри. При определении концентрации урана в урановой смолке она вместе с мужем обнаружила, что некоторые фрагменты урановой руды имели более высокую активность, чем можно было ожидать даже при 100-процентном содержании урана. Это ясно указывало, что в смолке присутствуют какие-то элементы с более высокой радиоактивностью. Поскольку обычными химическими методами их не удавалось обнаружить, значит, эти неизвестные элементы присутствовали в очень незначительных количествах, испуская чрезвычайно мощное радиоактивное излучение.

Вдохновленные своим открытием, супруги Кюри заказали несколько тонн урановой смолки и переработали ее самым примитивным способом в небольшом сарае, настойчиво выделяя из огромной массы тяжелой черной руды считанные крупинки новых элементов. К июлю 1898 года им удалось выделить крошечную горстку черного порошка, радиоактивность которого в 400 раз превышала активность чистого природного урана.

В этой драгоценной щепотке содержался элемент, который имел химические свойства, сходные с теллуром, а следовательно,

должен размещаться в таблице сразу под ним. Позднее новому элементу был присвоен атомный номер 84 и дано название полоний, в честь родины М. Кюри.

Но оказалось, что повышенная радиоактивность выделенного концентрата лишь частично определяется полонием. После новых экспериментов в декабре 1898 года супруги Кюри сообщили, что обнаружили еще более радиоактивный элемент, чем полоний. По химическим свойствам он напоминал барий (а потому был помещен в периодической таблице сразу под ним, получив номер 88). Из-за мощного радиоактивного излучения ему было присвоено имя радий (от латинского слова «излучающий»).

Еще четыре года Кюри потратили, чтобы выделить количество радия, достаточное для изучения его свойств. Итогом напряженной работы стала докторская диссертация М. Кюри, которую она защитила в 1903 году. В истории науки это была одна из самых выдающихся докторских диссертаций. Недаром Мария Кюри была удостоена не одной, а двух Нобелевских премий. В 1903 году супруги Кюри вместе с Беккерелем стали лауреатами престижной премии по физике за работы по изучению радиоактивности. А в 1911 году уже одной Марии (ее муж погиб в результате уличной аварии в 1906 году) была вручена Нобелевская премия по химии за открытие полония и радия.

Как полоний, так и радий значительно менее устойчивы и, соответственно, более радиоактивны, чем уран или торий. Периоды полураспада полония и радия настолько малы, что все запасы этих элементов в природе должны полностью исчерпаться за несколько миллионов лет, что в масштабах Вселенной — одно мгновение. Почему же мы до сих пор находим их на Земле, возраст которой исчисляется миллиардами лет? Причина заключается в том, что и полоний, и радий постоянно образуются в ходе распада урана и тория до свинца. Поэтому там, где встречаются уран или торий, всегда имеются следовые количества полония и радия, которые являются промежуточными продуктами на пути радиоактивного распада «родителей», конечной точкой которого является свинец.

Последующий скрупулезный анализ урановой смолки и других природных радиоактивных соединений привел к открытию еще трех неустойчивых элементов, образующихся при распаде урана и тория до свинца. В 1899 году А. Дебьерн, проведя по совету супругов Кюри тщательное исследование урановой смолки на предмет других элементов, обнаружил там еще один элемент, названный актиний (от греческого слова «луч») и получивший следующий за радием номер 89. На следующий год немецкий физик Ф. Дорн показал, что в результате распада радия образуется некий газообразный элемент. Радиоактивный газ — это было что-то новое! Впоследствии новый элемент получил имя радон (созданное на основе имен химических «родственников», радия и

аргона) и соответственно номер 86. Наконец, в 1917 году, независимо друг от друга, две группы ученых — О. Ган и Л. Мейтнер в Германии, а также Ф. Содди и Д. Крэнстон в Англии — выделили из урановой руды элемент под номером 91 протактиний.

К 1925 году семейство химических элементов насчитывало уже 88 членов, из них 81 стабильный элемент и 7 — нестабильных. На повестку дня вновь встал вопрос обнаружения недостающих элементов с номерами 43, 61, 85 и 87.

Поскольку все элементы в ряду от 84-го до 92-го были радиоактивными, то было вполне логично считать, что элементы с атомными номерами 85 и 87 также являются неустойчивыми. С другой стороны, поскольку пустые клетки с элементами номеров 43 и 61 окружены стабильными «соседями», то можно ожидать, что эти неизвестные элементы также стабильны и их надо искать в природе.

Элемент номер 43, расположенный в периодической таблице непосредственно под рением, должен иметь с ним химическое сходство. Поэтому искать его следовало в тех же рудах. Действительно, ученые, открывшие рений — Ноддак, Такке и Берг, — одновременно отмечали и наличие рентгеновского излучения, соответствующего элементу с атомным номером 43. Сообщив об этом открытии, они присвоили новому элементу имя мазурий (по названию местности в Восточной Пруссии). Однако их открытие никому не удалось подтвердить, а в науке открытие признается лишь в том случае, когда кому-то из независимых коллег удастся его повторить.

В 1926 году два химика из университета штата Иллинойс (США) заявили о своем открытии элемента номер 61, обнаруженного ими в рудах, содержащих его ближайших соседей, элементы с атомными номерами 60 и 62, и названного илиний. В том же году их итальянские коллеги из Флорентийского университета опубликовали сообщение об открытии того же самого элемента, но названного ими флоренций. Однако никому из химиков не удалось подтвердить ни то ни другое «открытие».

Несколько лет спустя физик Алабамского политехнического института (США), используя разработанный им новый аналитический метод, сообщил о выделении небольших следов элементов с номерами 85 и 87, которые он назвал вирджиний и алабамий, по имени двух штатов — мест своего рождения и жительства, соответственно. Но и в этом случае его открытие никому не удалось подтвердить.

Как показали события, все описанные «открытия» элементов с номерами 43, 61, 85 и 87 оказались мистикой.

Первым из этой четверки элементов был достоверно открыт и описан элемент номер 43. Его удалось выделить американскому

физику Э. Лоуренсу, получившему Нобелевскую премию по физике за изобретение циклотрона (см. главу 6). Новый элемент он получил в своем ускорителе, бомбардируя мишень из молибдена (атомный номер 42) высокоскоростным потоком частиц. Обработанная таким образом мишень стала радиоактивной, и Лоуренс, отделив радиоактивную часть от молибдена, направил ее на анализ итальянскому химику Э. Сегре, который тоже работал над проблемой 43-го элемента. Установив, что новый элемент по своим химическим свойствам похож на рений, Сегре с коллегами пришел к выводу, что это и есть элемент номер 43, который, в отличие от соседей по таблице, оказался радиоактивен. Поскольку он не образуется в результате распада элементов с более высокими атомными номерами, то бессмысленно ожидать его присутствия в земной коре, поэтому Ноддак с компанией вряд ли мог выделить его из руды, и его «открытие» было простой ошибкой. Новому элементу с номером 43 было присвоено имя технеций, что по-гречески значит «искусственный», за то, что это был первый созданный человеческими руками элемент. К 1960 году удалось накопить достаточно технеция, чтобы определить его температуру плавления (около 2200 °C). Позднее Сегре был удостоен Нобелевской премии за другое открытие, также связанное с искусственным получением элементов (см. главу 6).

В 1939 году, наконец, удалось обнаружить элемент номер 87. Его выделила из продуктов распада урана французский химик М. Пере, которой благодаря усовершенствованной технике удалось выделить крошечное, но достаточное для исследований количество нового элемента. В честь своей родины она присвоила ему имя франций.

Элемент номер 85, как и технеций, был получен в циклотроне бомбардировкой висмута (элемент номер 83). В 1940 году Сегре (который к тому времени эмигрировал из Италии в США), Д. Корсон и К. Маккензи в лаборатории Калифорнийского университета выделили элемент номер 85. Вторая мировая война прервала их работу, но по ее окончании они вернулись к исследованиям и в 1947 году предложили назвать новый элемент астат (от греческого слова «нестабильный»). (К тому времени следы аста-та, как и франция, были обнаружены среди продуктов распада урана.)

Четвертый недостающий элемент под номером 61 был выделен из продуктов самопроизвольного деления урана, о чем подробнее будет рассказано в главе 9. (Там же, кстати, был найден и технеций.) Трое химиков из Оук-Риджской национальной лаборатории (США) — Д. Маринский, Л. Гленденин и Ч. Корьел — выделили элемент номер 61 в 1945 году. Они присвоили ему имя прометий в честь мифического гиганта Прометея, который выкрал у олимпийских богов огонь, зажженный от солнца, и подарил его людям. Ведь элемент номер 61 тоже был выхва-

чен учеными из атомного пламени, не уступающего солнечному пеклу.

Таким образом, весь список элементов от 1 до 92 был окончательно заполнен. Но впереди лежала самая таинственная часть на пути поисков и открытий новых элементов. Ученые дерзко раздвинули привычные границы периодической таблицы элементов, уран оказался далеко не последним ее членом.

Поиск следующих за ураном — так называемых «трансурановых» — элементов начался еще в 1934 году, когда итальянец Энрико Ферми обнаружил, что при бомбардировке элементов недавними открытыми элементарными частицами *нейтронами* (см. главу 6) часто наблюдалось превращение этого элемента в другие — с более высокими атомными номерами. Возник вопрос: а нельзя ли превратить уран в следующий по порядку элемент номер 93, то есть полностью синтетический по своей природе элемент? Группа ученых во главе с Ферми продолжала настойчиво обрабатывать уран потоком нейтронов, и в конце концов им удалось получить новый продукт, который, по их мнению, был тем самым элементом номер 93. Они называли его уран-Х.

В 1938 году Ферми был удостоен Нобелевской премии по физике за исследования бомбардировки нейтронами. В то время об истинном значении его открытия и его последствиях для человечества даже не подозревали. Как другой знаменитый итальянец Христофор Колумб, он открыл не то, что искал, но нечто более важное, о чем сам пока не догадывался.

Здесь уместно отметить, что после неудачных попыток повторить и разобраться в сделанном Ферми открытии ученые, наконец, поняли, что в действительности тот вовсе не получил новый элемент, но зато открыл возможность деления урана на две почти равные части. И когда в 1940 году физики вернулись к изучению этого процесса, открытие элемента номер 93 явилось почти рутинным результатом их опытов. В той сложной смеси элементов, которая возникала в результате бомбардировки урана нейтронами, обнаружился один элемент, который вначале ускользал от внимания экспериментаторов. Э. Макмиллан из Калифорнского университета догадался, что образующиеся при делении урана нейтроны превращают часть атомов урана в элемент с более высоким атомным номером, на что когда-то и рассчитывал Ферми. Макмиллан и физико-химик Ф. Эйблсон сумели доказать, что обнаруженный элемент действительно имел атомный номер 93. Доказательство, как и в открытиях следующих трансурановых элементов, строилось на природе его радиоактивного излучения.

Макмиллан предположил, что другой трансурановый элемент может находиться в смеси с номером 93. Американский химик Г.Т. Сиборг вместе с коллегами А.Ч. Уоллом и Дж. Кеннеди вско-

ре установили, что так оно и было, выделив еще один элемент под номером 94.

Поскольку уран, который считался последним элементом периодической таблицы, был назван в честь открытой в одно с ним время планеты Уран, новые элементы номер 93 и номер 94 получили свои имена в честь Нептуна и Плутона, открытых после Урана. Они были названы нептуний и плутоний. Оказалось, что они встречаются и в природе, но только в виде следов в урановых рудах. Стало ясно, что уран — не самый тяжелый из встречающихся на Земле элементов.

Группа Сиборга в Калифорнийском университете методично искала новые трансурановые элементы. Бомбардируя плутоний субатомными частицами, в 1944 году они получили 95-й и 96-й элементы, получившие имена америций (в честь Америки) и кюрий (в честь супругов Кюри). Когда им удалось наработать достаточное количество америция и кюрия, они использовали эти элементы в качестве мишеней для бомбардировки, получив в результате два следующих «трансурана» — номер 97 в 1949 году и номер 98 в 1950 году. Элементы были названы берклий (в честь университетского городка Беркли) и калифорний (в честь штата Калифорния). В 1951 году за блистательную серию своих открытий Сиборг и Макмиллан поделили Нобелевскую премию в области химии.

Следующие элементы были открыты при чрезвычайных обстоятельствах. Элементы номер 99 и номер 100 были обнаружены при испытаниях первой водородной бомбы, взорванной американцами в Тихом океане в ноябре 1952 года. Хотя существование новых элементов было зафиксировано на месте взрыва, но получить их удалось лишь в 1955 году группе ученых из того же Калифорнийского университета. Они названы эйнштейний и фермий (в честь А. Эйнштейна и Э. Ферми, которые умерли за несколько месяцев до этого события). Далее подвергли бомбардировке небольшое количество эйнштейния, получив в результате элемент номер 101, получивший имя менделевий в честь Д.И. Менделеева.

На следующем этапе началось сотрудничество калифорнийских ученых с коллегами из Нобелевского института в Швеции. В шведском институте были выполнены сложные эксперименты по нейтронной бомбардировке, в ходе которых был, предположительно, получен элемент номер 102. Он получил имя нобелий в честь названия института, однако результаты этих опытов подтвердить не удалось. Различия в методиках привели к тому, что потребовалось еще некоторое время, чтобы нобелий был официально признан в качестве равноправного члена периодической таблицы.

В 1961 году ученым Калифорнийского университета удалось зафиксировать несколько атомов элемента номер 103, которому

присвоили имя лоуренсий в честь недавно умершего Э. Лоуренса. Группа советских ученых под руководством Г.Н. Флорова в 1964 году сообщила о синтезе элемента номер 104, а в 1967 году — о получении элемента номер 105. В обоих случаях существование этих элементов подтвердила группа американских физиков во главе с А. Джорсо, получив их другим путем. В результате возник спор по поводу приоритета этих открытий, и обе группы стали претендовать на право присвоить имена новым элементам. Советские ученые назвали 104-й элемент курчатовием, в честь И.В. Курчатова, руководителя работ по созданию в СССР атомной бомбы. Американцы присвоили тому же элементу имя резерфордий, а 105-му элементу — ганий, в честь Э. Резерфорда и О. Гана, которые совершили ключевые открытия в области строения атома.

Каждый новый шаг по шкале трансурановых элементов давался труднее, чем предыдущий. Элементы оказывались все более неустойчивыми, а выделять их в достаточном для исследований количестве становилось все сложнее. Идентификация менделевия проводилась по 17 атомам, что стало возможным благодаря очень точным радиохимическим методам контроля. Ученые Беркли довели чувствительность своих приборов до такого уровня, что характеристическое излучение очередного атома менделевия мгновенно улавливалось и сигнал подавался на пожарный колокол, громко возвещавший об этом событии на всю округу. (Руководители пожарной службы вскоре запретили такую сигнализацию.)

Электроны

Когда Менделеев и его современники обнаружили, что все элементы можно расположить в виде периодической таблицы, состоящей из колонок элементов с близкими свойствами, они ничего не знали о причинах попадания элементов в такие группы или сходства их химических свойств. В конце концов открылся ясный и довольно простой ответ на этот вопрос, однако он был получен после серии открытий, которые вначале казались не связанными с химическими проблемами.

Все началось с изучения электричества. Выполняя опыты с электричеством, М. Фарадей пытался добиться электрического разряда в вакууме, но ему долго не удавалось получить необходимый уровень разрядки. В 1854 году немецкий стеклодув Г. Гейслер изобрел высокоэффективный вакуумный насос и смог изготовить стеклянную трубку с впаянными внутрь ее металлическими электродами и достаточно глубоким вакуумом. В опытах с

трубкой Гейсслера удалось зафиксировать зеленоватое свечение на конце трубки напротив отрицательного электрода. В 1876 году немецкий физик Е. Гольдштейн предположил, что это свечение вызвано излучением, испускаемым отрицательным электродом, который Фарадей назвал катодом. Гольдштейн назвал это излучение *катодными лучами*.

Являлись ли катодные лучи электромагнитным излучением? Сам Гольдштейн думал именно так, однако его английский коллега В. Крукс и некоторые другие ученые считали это излучение потоком частиц определенного типа. Крукс разработал улучшенный вариант трубки Гейсслера (названной трубкой Крукса), с помощью которого продемонстрировал, что катодные лучи отклоняются в магнитном поле. А это означало, что, скорее всего, они состояли из электрически заряженных частиц.

В 1897 году английский физик Д. Томсон показал, что катодные лучи отклоняются под воздействием электрического поля. Возник вопрос: что же представляют собой эти катодные частицы? К тому времени единственным известным типом отрицательных частиц были отрицательные ионы атомов — анионы. Опыты показали, что излучаемые катодом лучи отличаются своим поведением от анионов, поскольку очень сильно отклоняются в магнитном поле, что указывает либо на чрезвычайно большую величину заряда, либо на невероятно малую массу катодных частиц, которая должна составлять порядка $1/1000$ массы атома водорода. Наиболее правдоподобным выглядело последнее объяснение. Среди физиков достаточно давно возникла идея, что электрический ток представляет поток частиц, а катодные частицы хорошо подходили на роль таких дискретных носителей электричества. Они получили название *электроны* — этот термин в 1891 году предложил ирландский физик Д. Стоней (Стоуни). Масса электрона была определена как $1/1837$ часть массы атома водорода. За экспериментальное доказательство существования этой частицы Томсон был удостоен Нобелевской премии по физике за 1906 год.

Открытие электрона сразу натолкнуло ученых на мысль, что он представляет собой элементарную частицу, входящую в состав атома, — другими словами, атомы не являются неделимыми, как ранее утверждали ученые начиная с Демокрита и кончая Дальтоном.

Хотя этот факт было трудно осознать, эксперименты указывали на справедливость такого заключения. Одним из самых убедительных доказательств послужили опыты Томсона, показавшего, что отрицательно заряженные частицы, испускаемые металлической пластиной при освещении ультрафиолетовым излучением (в результате *фотоэлектрического эффекта*), полностью идентичны электронам катодных лучей. Эти электроны выбивались из атомов металлов.

Поскольку электроны без особого труда покидали атомы (как, например, при фотоэффекте), естественно было предположить, что эти частицы располагаются на внешней оболочке атомов. Если это так, то внутри атома должна быть положительно заряженная область для компенсации отрицательного заряда электронов, так как атом в целом обычно нейтрален. Именно эта идея стала толчком для разгадки тайны периодической таблицы элементов.

Чтобы удалить электрон из атома, требуется совсем немного энергии. И наоборот, когда электрон занимает свободное место в атомной оболочке, происходит выделение того же количества энергии. В природе обычно соблюдается правило симметрии, особенно если это касается энергетических вопросов. Энергия в данном случае выделяется в форме электромагнитного излучения. Поскольку энергия излучения при попадании электрона на вакантное место определяется длиной соответствующей волны, то именно ее величиной характеризуется сила, с которой атом этот электрон удерживает. И чем короче длина волны, тем прочнее удерживается электрон.

Тут мы подходим к открытию Мозли, который установил, что металлы (то есть более тяжелые элементы) излучают рентгеновские лучи с характеристическими длинами волн, величина которых падает по определенному правилу и в полном соответствии с периодическим расположением элементов. Оказалось, что каждый следующий по порядку элемент удерживает свои электроны прочнее, чем предыдущий, или, другими словами, каждый последующий элемент имеет более высокий положительный заряд своей внутренней части.

Если принять единичный положительный заряд равным отрицательному заряду электрона, получается, что атом каждого следующего элемента должен иметь на один электрон больше. Тогда самый простой вариант объяснения периодичности таблицы элементов состоит в предположении, что первый элемент, водород, имеет единичный положительный заряд и 1 электрон, второй элемент, гелий, — два положительных заряда и 2 электрона, третий, литий, — три положительных заряда и 3 электрона и т. д., вплоть до урана, у которого целых 92 электрона. То есть порядковый номер элемента характеризует количество электронов в каждом его атоме.

Еще одно ключевое открытие — и ученые получили окончательный ответ на вопрос о причинах периодичности расположения элементов в таблице. Оказалось, что электронное излучение элементов чаще всего не ограничивается одной длиной волны, а характеризуется спектрами из одной, двух, трех и даже большего числа длин волн. Эти наборы характеристических волн получили название К-серий, L-серий, М-серий и т. д. Исследователи объяснили это явление распределением электронов по

«оболочкам» вокруг положительно заряженного атомного ядра. Сильнее всего удерживаются электроны внутренних оболочек, и для их удаления требуется наибольшая энергия. Соответственно электрон, занимающий место на этом уровне, имеет наиболее мощное и коротковолновое излучение, принадлежащее К-серии. Электроны более удаленной от ядра оболочки характеризуются L-серией спектра, следующие за ними — M-серией и т. д. Поэтому соответствующие электронные оболочки получили название К-оболочка, L-оболочка, M-оболочка и т. д.

В 1925 году австрийский физик В. Паули сформулировал свой принцип запрета, который объяснял, каким образом электроны заполняют оболочки. В соответствии с принципом Паули, не может быть двух электронов с одинаковой энергией и спином, то есть направлением вращения вокруг оси. За это открытие Паули был удостоен Нобелевской премии за 1945 год.

В 1916 году американский химик Дж. Льюис предложил теорию подобия свойств и химического поведения некоторых наиболее простых элементов, исходя из строения их электронных оболочек. К тому времени было достаточно доказательств, что самая маленькая электронная оболочка заполнена двумя электронами. Водород имеет только один электрон, и его оболочка не заполнена до конца. Атомы стремятся любым способом заполнить свои К-оболочки. Например, два атома водорода могут объединить свои электроны, получая тем самым в общее пользование уже пару электронов и заполняя свои К-уровни. Поэтому водород почти всегда существует в виде молекулы, состоящей из двух атомов. Чтобы разделить эту молекулу на два «свободных» атома, требуется немалая энергия. И. Лэнгмюр, сотрудник американской компании «Дженерал электрик», самостоятельно установил связь между распределением электронов и химическими свойствами элементов, экспериментально продемонстрировал мощное стремление атомов водорода к объединению в молекулу и заполнению своей оболочки. Он создал «атомно-водородный светильник», продувая газообразный водород через электрическую дугу, которая «расщепляла» молекулы на атомы; далее происходила рекомбинация атомов с выделением энергии, которая шла на электродуговое расщепление, в результате чего температура пламени достигала 3400 °C!

У гелия, второго по порядку элемента, К-оболочка заполнена, поэтому атом гелия очень стабилен и не склонен к рекомбинации с другими атомами. Начиная с атома лития происходит заполнение L-оболочки. У идущих друг за другом элементов прибавляется там по одному электрону: у бериллия — 2 электрона на L-уровне, у бора — 3, углерода — 4, азота — 5, кислорода — 6, фтора — 7 и неона — 8. На этом заполнение L-оболочки закан-

чивается, поэтому неон по свойствам схож с гелием, имея, как и тот, полностью заполненную внешнюю оболочку. И в той же степени проявляет свойства типичного инертного газа.

Любой атом с незаполненной внешней оболочкой стремится вступить в связь с другими атомами, чтобы максимально заполнить ее или отдать с нее электроны. Так, атом лития с готовностью отдает свой единственный внешний электрон, удовлетворяясь заполненным К-уровнем. В то же время фтор стремится захватить недостающий электрон и заполнить L-оболочку до «магической восьмерки». А поскольку внутренний положительный заряд атома остается неизменным, литий, отдавший один электрон, становится положительно заряженным, а приобретший дополнительный электрон атом фтора приобретает отрицательный заряд. Противоположно заряженные ионы притягиваются друг к другу, образуя новое соединение — фторид лития.

Электроны с L-оболочек могут не только целиком переходить от одного атома к другому, но и поступать в общее пользование. Скажем, два атома фтора могут образовать молекулу, объединив по одному электрону, в результате чего каждый из двух атомов получает заполненную L-оболочку. Точно так же соединяются в молекулы два атома кислорода, приобретая в распоряжение по четыре общих электрона, и два атома азота, располагающие уже шестью такими электронами.

Атом углерода, имеющий только четыре электрона на внешней оболочке, способен объединяться с атомами водорода, заполняя тем самым К-оболочки этих атомов и одновременно свою L-оболочку «взятыми в аренду» четырьмя электронами атомов водорода. В результате образуется устойчивое соединение — молекула метана, CH_4 .

Тем же способом атом азота делит электроны с тремя атомами водорода, образуя аммиак, NH_3 ; атом кислорода — с двумя атомами водорода, образуя воду, H_2O ; углерод — с двумя атомами кислорода, давая двуокись углерода, CO_2 , и т. д. Практически для всех элементов верхней части периодической таблицы характерно стремление иметь заполненные внешние электронные оболочки путем отдачи, или присоединения электронов, или же их совместного использования.

Следующий за неоном натрий имеет 11 электронов, и последний из них открывает третью по счету электронную оболочку. Далее идет магний с 2 электронами на M-оболочке, алюминий — с 3, кремний — с 4, фосфор — с 5, сера — с 6, хлор — с 7 и аргон — с 8.

Таким образом, каждый элемент этого ряда соответствует одному из членов предыдущей группы. Так, аргон с 8 электронами на M-оболочке схож с неоном (имеющим 8 электронов на L-оболочке) и также является инертным газом. Хлор с 7 электронами на внешней оболочке очень напоминает по свойствам

фтор. Аналогично кремний похож на углерод, натрий — на литий и т. д.

Такая же картина наблюдается на протяжении всей периодической таблицы. Таким образом, химическое поведение любого элемента зависит от строения внешних электронных оболочек. Так, все элементы из первой колонки, имеющие по одному электрону на внешней оболочке, литий, натрий, калий, рубидий, цезий и даже полученный искусственным путем франций, чрезвычайно близки по своим химическим свойствам. У лития этот самый электрон располагается на L-оболочке, у натрия — на M-оболочке, у калия — на N-оболочке, у рубидия — на O-оболочке, у цезия — на P-оболочке и, наконец, у франция — на Q-оболочке. Точно так же похожи между собой и все элементы с 7 электронами на внешнем уровне: фтор, хлор, бром, йод и астат. Аналогичное подобие характерно и для последней колонки таблицы, где расположены элементы с заполненными внешними оболочками: гелий, неон, аргон, криптон, ксенон и радон.

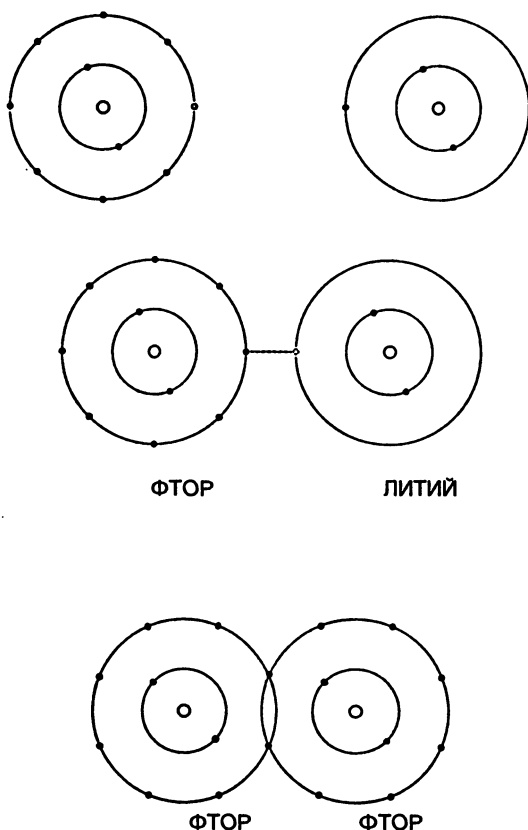
Предложенная Лэнгмюром и Льюисом концепция оказалась настолько добротна, что до сих пор ее исходная формулировка не претерпела изменений применительно к наиболее простым элементам. И все-таки далеко не всегда химические свойства элементов удается объяснить с помощью этого простого принципа.

Например, почти все инертные газы — неон, аргон, криптон, ксенон и радон — имеют по 8 электронов на внешней оболочке (исключением является лишь гелий с 2 электронами на K-уровне) и представляют собой самые устойчивые элементы. Их атомы проявляют минимальную склонность к отдаче или присоединению электронов, то есть к вступлению в химическую реакцию. За это они и получили свое «родовое имя» — *инертные газы*.

Тем не менее «минимальная склонность» не то же самое, что «полное отсутствие склонности», хотя многие химики просто пренебрегали этим фактом, уверившись, что инертные газы не могут образовывать никаких соединений. В 1932 году американский химик Л. Полинг, оценивая склонность различных элементов к отдаче электронов, показал, что у всех элементов без исключения, даже у инертных газов, можно отобрать хотя бы часть их электронов. Просто для инертных газов требуется существенно большая энергия.

Количество энергии для удаления электронов в каждой группе родственных элементов понижается с ростом атомного веса, поэтому для самых тяжелых представителей семейства инертных газов — ксенона и радона — эта величина вполне реальна. Например, отщепить электрон от атома ксенона не намного труднее, чем сделать то же самое с атомом кислорода.

Тем самым Полинг предсказал, что тяжелые инертные газы могут образовывать химические соединения, прежде всего с элементами, имеющими высокую склонность к захвату дополнитель-



Передача и совместное использование электронов. Литий отдает электрон со своей внешней оболочки «захватчику» фтору с образованием фтористого лития (LiF); в результате оба атома приобретают заполненные внешние оболочки. В молекуле фтора (F_2) два электрона находятся в общем пользовании, и внешние оболочки обоих атомов также заполнены

ных электронов. Поскольку одним из наиболее «агрессивных захватчиков» является фтор, он и был выбран как средство достижения цели.

Что касается радона, то он радиоактивен и встречается лишь в следовых количествах. Зато его ближайший сосед по группе, ксенон, являясь стабильным элементом, в небольшом количестве имеется в атмосфере. Поэтому лучшим вариантом было попытаться получить соединение ксенона с фтором. Однако в течение 30 лет синтезировать его не удавалось, во многом по причине дороговизны ксенона и трудности работы с чистым фтором, и многим экспериментаторам даже показалось, что они гонятся за призраком.

И все же в 1962 году британо-канадский химик Н. Бартлетт, работавший с новым соединением, гексафторидом платины (PtF_6), обнаружил, что это вещество является отличным «захватчиком» чужих электронов, почти столь же сильным, как фтор. Гексафторид платины мог отобрать электроны даже у кислорода, который проявляет существенно большую склонность к присоединению дополнительных электронов, чем к их отдаче. А если PtF_6 сумел отобрать электроны у кислорода, то имелся шанс, что это он «справится» и с ксеноном. Был поставлен опыт, в котором получили первое соединение с инертным газом, XePtF_6 .

Тут же за эту идею ухватились и другие химики, синтезировавшие целую серию соединений ксенона с фтором, кислородом и обоими элементами вместе, но самым устойчивым из них оказался дифторид ксенона (XeF_2). Позднее удалось получить фториды криптона (KrF_4) и радона. Среди соединений с кислородом можно отметить оксифторид ксенона (XeOF_4), ксеноновую кислоту (H_2XeO_4) и перксенат натрия (Na_4XeO_6). Интересным также представляется триоксид ксенона (Xe_2O_3), неустойчивое и крайне взрывоопасное соединение. Более легкие инертные газы — аргон, неон и гелий — прочнее удерживают свои электроны и сильнее сопротивляются вступлению в химические реакции (хотя современной химии вполне по плечу и эта задача).

Химики довольно быстро оправались от первоначального шока из-за того, что инертные газы образуют химические соединения. В конце концов, эти результаты вполне вписывались в общую картину. Больше не было оснований называть элементы из последней колонки периодической таблицы инертными газами. Поэтому для них было предложено альтернативное название — *благородные газы*. Появились и другие термины: «соединения благородных газов» и «химия благородных газов». (Лично мне представляется старое название вполне пригодным, поскольку элементы этого семейства действительно очень инертны, хотя и не в абсолютной степени. Идея же об их «благородстве» созвучна некоей исключительности и «нежеланию смешиваться с чернью», что явно противоречит духу демократического общества.)

Концепцию Льюиса—Лэнгмюра трудно применить для оценки химического поведения инертных газов, а также элементов с атомными номерами выше 20. Особенно много проблем возникло в случае с группой редкоземельных элементов с номерами от 57 до 71. Первые химики называли *землей* вещество, нерастворимое в воде и не меняющееся при нагревании. Такой подход был отзвуком отношения древнегреческих философов к земле как одному из первоэлементов. К подобным веществам относили то, что нам теперь известно как оксид кальция, оксид магния, диоксид кремния, оксид алюминия и т. д. — то есть соединения, составляющие до 90 процентов земной коры. Оксиды кальция и магния слегка растворяются в воде, давая щелочную реакцию

(противоположную действию кислот), за что и получили название *щелочные земли*; когда Х. Дэви выделил из них чистые металлы, кальций и магний, то назвал их щелочноземельными. Впоследствии то же имя было присвоено и другим элементам этой колонки периодической таблицы, то есть бериллию, стронцию, барию и радю.

Загадка, о которой я упомянул выше, впервые возникла в 1794 году, когда финский химик Й. Гадолин, исследуя рудные образцы вблизи шведского местечка Иттерби, обнаружил неизвестную до того «редкую землю», которую назвал по месту находки *иттрий*. Позднее уже немецкий химик М. Клапрот сумел разделить этот образец на две «земли», для одной из которых он оставил имя иттрий, а другой присвоил название церий (в честь недавно открытой малой планеты и по имени древнегреческой богини Цереры). Однако немного спустя шведский ученый К. Мосандер сумел выделить из того же образца еще несколько «земель». Все они оказались оксидами новых элементов, получивших название *редкоземельные металлы*. Общими усилиями к 1907 году химики идентифицировали всего 14 таких элементов. По возрастанию атомного веса они расположились следующим образом:

Лантан (от греч. «скрытный»)

Церий (в честь Цереры)

Празеодим (от греч. «зеленый близнец», из-за зеленой линии в спектре)

Неодим («новый близнец»)

Самарий (по имени минерала самарскит, где тот был обнаружен)

Европий (в честь Европы)

Гадолиний (в честь Йохана Гадолина)

Тербий (в честь Иттербийского месторождения)

Диспрозий (от греч. «труднодоступный»)

Гольмий (в честь Стокгольма)

Эрбий (в честь того же Иттерби)

Тулий (от старого названия Скандинавии)

Иттербий (в честь Иттерби)

Лютеций (от древнеримского названия Парижа).

На основе изучения рентгеновских свойств всем элементам были присвоены атомные номера от 57 (лантан) до 71 (лютеций). Как отмечалось ранее, вначале в этом ряду имелась незаполненная ячейка под номером 61, которая в дальнейшем была заполнена прометием, выделенным из продуктов деления урана и ставшим 15-м членом этого семейства.

Но открытие редкоземельных элементов (РЗЭ) обернулось тем, что они никак не вписывались в привычный порядок периодической таблицы. Весьма удачно, что к моменту появления

таблицы Менделеева было твердо установлено существование лишь четырех представителей РЗЭ; если бы в то время были открыты все члены семейства, ситуация могла бы сильно запутаться и вызвать недоумение. И в науке встречаются моменты, когда недостаток информации оказывается благом.

Первый в ряду РЗЭ, лантан по свойствам очень похож на иттрий (номер 39), стоящий в таблице сразу над лантаном. (Однако, хотя иттрий встречается в тех же рудах, что и редкоземельные металлы, и близок к ним по свойствам, он не относится к РЗЭ. Несмотря на этот факт, иттрий назван в честь того же Иттербийского месторождения. Весьма редкая ситуация — один небольшой населенный пункт дал имя четырем химическим элементам!) Недоумение начинается с непосредственно следующего за лантаном церия, который, казалось бы, должен быть похож на стоящий за иттрием цирконий. Но ничего подобного; он также напоминает по свойствам иттрий. То же самое справедливо для всех 15 членов семейства: все они похожи на иттрий и друг на друга (по сути, они так схожи между собой, что их долго не удавалось разделить традиционными методами, пока не были разработаны трудоемкие и многоступенчатые методики), но ничем не напоминали ни один из других элементов, расположенных перед ними. Лишь у следующего сразу за ними гафния (номер 72) мы находим свойства, аналогичные цирконию, который стоит в таблице за иттрием.

Запутанным таким положением дел химикам не оставалось ничего другого, как поместить все РЗЭ на одну «общую полку» сразу под иттрием, обозначив их специальной сноской внизу таблицы.

Разгадка этой головоломки в конце концов нашлась в результате поправок, сделанных в схеме заполнения электронных оболочек Льюиса—Лэнгмюра. В 1921 году Ч.Р. Бари предположил, что количество электронов на оболочке не обязательно должно ограничиваться цифрой 8. Хотя восемь электронов и обеспечивают стабильность внешней оболочки, однако на внутренней оболочке может располагаться и больше электронов, если их нет на внешней. По мере заполнения одного электронного слоя за другим на внутренних оболочках могут собираться дополнительные электроны, причем каждая следующая оболочка имеет большую емкость, чем предыдущая. Так, максимальная емкость К-оболочки составляет 2 электрона, L-оболочки — 8, M-оболочки — 18, N-оболочки — 32, и т. д. — шаг за шагом в соответствии с квадратичной зависимостью: 2×1 , 2×4 , 2×9 , 2×16 ...

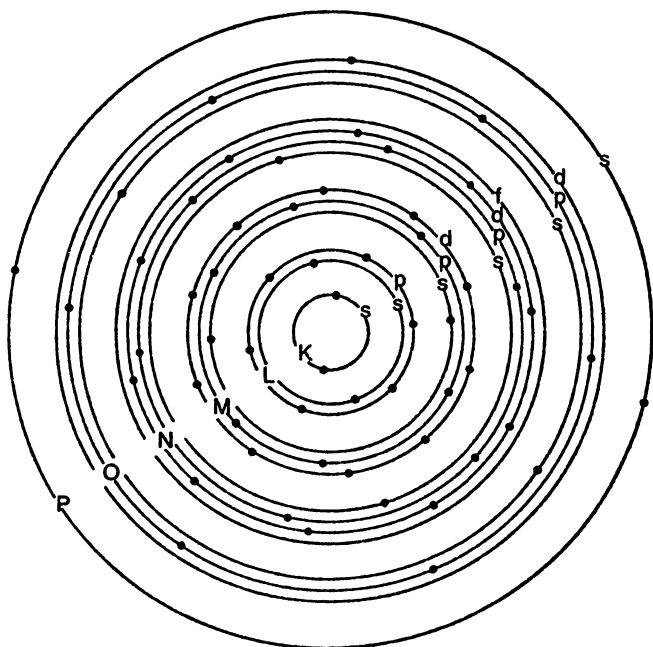
Эта идея получила однозначное подтверждение в ходе подробного исследования спектров элементов. Датский физик Нильс Бор показал, что каждая электронная оболочка состоит из набо-

ра немного отличающихся энергетических подуровней. С каждой следующей оболочкой такое расщепление постепенно возрастает, приводя в конце концов к их перекрытию. Например, верхний подуровень внутренней М-оболочки может оказаться существенно выше по энергии, то есть дальше от центра, чем самый нижний подуровень внешней N-оболочки. Как следствие, может начаться заполнение нижнего подуровня N-оболочки вместо верхнего подуровня М-оболочки.

Поясним сказанное примером. Согласно теории, М-оболочка разделена на три подуровня, емкость которых 2, 6 и 10 электронов соответственно, что в сумме составляет 18 электронов. У аргона, имеющего 8 электронов на М-оболочке, заполнено лишь два первых подуровня. Фактически третий — самый внешний — подуровень той же М-оболочки некоторое время остается пустым, и у следующего за аргоном калия начинается заполнение лежащего ниже подуровня N-оболочки. В результате калий, имеющий 1 электрон на N-уровне, имеет сходство с натрием, у которого на внешней М-оболочке тоже 1 электрон. У кальция (номер 20) уже 2 электрона на той же N-оболочке, что делает его «родственником» магния, также имеющего пару внешних электронов. Но теперь нижний подуровень N-оболочки, способный удержать лишь 2 электрона, окончательно заполнен. И у следующих элементов электроны начинают размещаться на внешнем подуровне внутренней М-оболочки, который до этого момента пустовал. Этот процесс начинается со скандия (номер 21) и завершается цинком (номер 30), у которого внешний подуровень М-оболочки полностью заполнен 10 возможными электронами. В атоме цинка 30 электронов распределены таким образом: 2 — на К-оболочке, 8 — на L-оболочке, 18 — на М-оболочке и 2 — на N-уровне. С этого момента возобновляется заполнение внешней N-оболочки, и у галлия (номер 31) появляется три внешних электрона, что определяет его сходство с алюминием (номер 13).

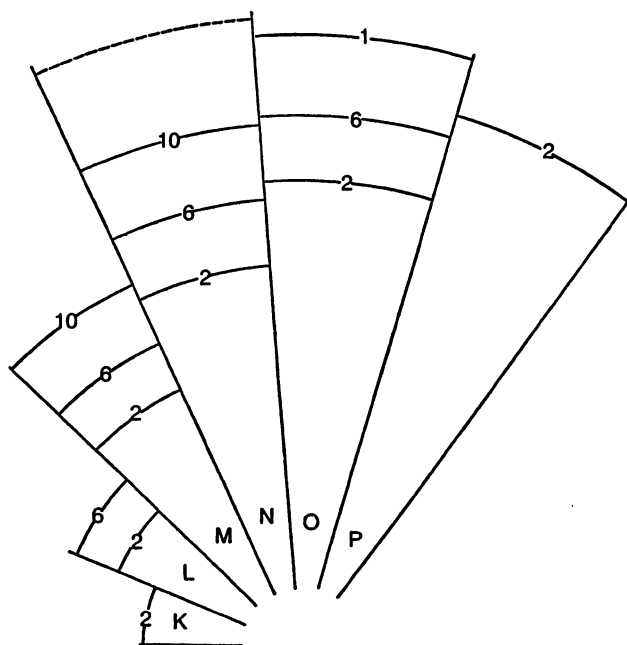
Суть заключается в том, что элементы с номера 21 по номер 30, у которых происходит последовательное заполнение временно вакантного подуровня, являются «переходными элементами». Отметим, что кальций похож на магний, а галлий — на алюминий. При этом магний соседствует в таблице с алюминием (номера 12 и 13), а кальций (номер 20) и галлий (номер 30) находятся далеко друг от друга. Между ними располагаются те самые переходные элементы, которые придают периодической таблице более сложный вид.

N-оболочка более вместительна, чем М-оболочка, и разделена на 4 энергетических подуровня, на которых может размещаться 2, 6, 10 и 14 электронов соответственно. У криптона (номер 36) заполнены два внутренних подуровня N-оболочки, выше которых расположен нижний подуровень следующей, O-оболочки, его заполнение начинается до «заселения» более высоких двух верхних



Расположение электронных оболочек лантана. Обратите внимание на пустующий четвертый подуровень N-оболочки

подуровней N-оболочки. Рубидий (номер 37) именно так размещает свой последний электрон на O-оболочке. Стронций (номер 38) заполняет нижний подуровень той же оболочки 2 электронами. Далее открывается новый ряд переходных элементов, у которых происходит заполнение пустовавшего до сих пор третьего подуровня N-оболочки. Этот процесс заканчивается у кадмия (номер 48), затем возобновляется заполнение O-оболочки, а именно его второго подуровня, которое завершается у ксенона (номер 54). Оставшийся свободным четвертый подуровень N-оболочки оказывается энергетически столь высок, что перекрывается даже нижним подуровнем P-оболочки, который начинает заполняться: у цезия (номер 55) и бария (номер 56) появляются там соответственно 1 и 2 электрона. Однако и после этого заполнение N-оболочки не возобновляется; следующий, 57-й электрон занимает место на третьем подуровне O-оболочки, образуя лантан (номер 57). Только после этого электроны попадают на верхний подуровень N-оболочки. Один за другим там размещаются электроны, выстраивая длинный ряд редкоземельных металлов, который заканчивается лютецием (номер 71). У него 2 электрона на K-оболочке, 8 — на L-оболочке, 18 — на M-оболочке, 32 — на N-оболочке, 9 — на O-оболочке (два заполненных подуровня



Схематическая диаграмма электронных оболочек и их подуровней лантана. Внешний подуровень N-оболочки пропущен при заполнении оболочек и пуст

плюс 1 электрон на третьем подуровне) и 2 внешних электрона на Р-оболочке, заполнившие нижний подуровень.

Вот теперь мы, наконец, разобрались, почему РЗЭ, как и другие группы переходных элементов, столь близки между собой. Главной причиной такого химического сходства является тот факт, что у всех членов каждой из этих групп одинаковое количество электронов на внешней оболочке! Например, углерод с четырьмя внешними электронами и азот с пятью такими же электронами имеют абсолютно разные свойства. Но элементы, у которых происходит последовательное заполнение внутренних оболочек без изменения внешнего уровня, имеют большое сходство химических свойств. Хорошим примером могут служить железо, кобальт и никель (элементы 26, 27 и 28), имеющие одинаковую конфигурацию внешней N-оболочки, заполненной 2 электронами, и весьма схожие свойства. И хотя внутренние M-оболочки этих металлов устроены различным образом, эта разница мало ощущается из-за схожего строения их внешних оболочек. Еще сильнее этот эффект проявляется у редкоземельных металлов, поскольку их различные N-оболочки скрыты даже под двумя электронными слоями (под O- и P-оболочками), которые одинаковы у всех членов этого семейства. Поэтому не сто-

ит удивляться, что они похожи между собой, как горошины из одного стручка.

Вначале — из-за довольно незначительного использования РЗЭ и большой трудоемкости их выделения в чистом виде — химики не прилагали особых усилий для их получения. Но ситуация резко изменилась после расщепления атома урана, потому что среди разнообразных продуктов его распада ученые обнаружили немало радиоактивных изотопов этих элементов. В ходе работы над проектом по созданию атомного оружия возникла необходимость их быстрого и эффективного выделения.

Эта проблема была решена в короткие сроки с помощью метода, который разработал еще в 1906 году русский ботаник Михаил Семенович Цвет. Он назвал этот способ *хроматография* (по-гречески «цветопись»). Цвет установил, что очень близкие по химическим свойствам растительные пигменты можно разделить, пропуская их растворы через колонку, заполненную тонко измельченным известняком. Смесь таких природных красителей растворялась в петролейном эфире и заливалась сверху в колонку с известью. Далее колонка промывалась чистым растворителем. Красители постепенно смывались с частиц извести потоком растворителя, стекающего вниз по колонке, причем в определенном порядке из-за различия в сцеплении с гранулами наполнителя.

Долгие годы химики игнорировали это изобретение Цвета, вероятно, из-за того, что он был всего лишь ботаником из России. В то время ведущими специалистами по тонким способам разделения близких по свойствам веществ считались немецкие биохимики. В 1931 году немецкий биохимик Р. Вильштеттер вторично открыл этот процесс и внедрил его в экспериментальную практику. (В 1915 году Вильштеттер получил Нобелевскую премию по химии за работы по изучению растительных красителей. Имя Цвета, к сожалению, было забыто.)

Хроматография через колонки с твердым носителем оказалась пригодной для разделения практических любых смесей — как окрашенных, так и бесцветных. Наилучшими носителями для разделения простых молекул оказались порошковый оксид алюминия и крахмал. При разделении ионов этот метод получил название ионного обмена, и для этих целей лучшие показатели оказались у цеолитов. Например, с помощью заполненной цеолитом колонки жесткую воду удается очистить от ионов кальция и магния. В ходе этого процесса ионы кальция и магния оседают на гранулах цеолита, замещая входящие в его состав ионы натрия, а из дна колонки вытекает смягченная вода. Периодически необходимо проводить восстановление колонки, пропуская через нее раствор поваренной соли (хлорид натрия). В 1935 году появился новый тип наполнителей — *ионообменные смолы*. Для каждой конкретной задачи синтезируются различные виды этих полимерных соединений. Так, некоторые типы смол замещают водород на

положительные ионы, другие же — ион гидроксила на анионы; а комбинация обоих типов позволяет удалить большинство солей из морской воды. Такие ионообменные опреснители входили в состав аварийных комплектов на спасательных плотках во время Второй мировой войны.

Первым ионообменные смолы для разделения РЗЭ применил американский химик Ф. Спеддинг. Он установил, что металлы этого семейства выходят из хроматографической колонки в порядке, обратном их атомным номерам. Это позволяло не только быстро отделить их друг от друга, но и провести точную идентификацию. Кстати, именно этим способом был выделен из продуктов деления ранее неуловимый прометий.

Благодаря хроматографии высокочистые редкоземельные элементы получают целыми килограммами и даже тоннами. Выяснилось, что редкоземельные металлы не так уж и редки (не считая прометия), в природе они встречаются чаще серебра и золота, а некоторые из них — лантан, церий и неодим — даже чаще свинца. Общее содержание РЗЭ в земной коре превышает суммарную концентрацию меди и олова. Поэтому у химиков появились веские основания отказаться от термина «редкие элементы», и теперь их чаще называют *лантанидами*, по имени первого члена семейства. Однако редкоземельные элементы не находили особо широкого применения до 1965 года, когда обнаружилось, что некоторые соединения европия и иттрия, высокочувствительные к красной части видимого спектра и обладающие устойчивым послесвечением, стали использоваться в экранах цветных телевизоров. С каждым годом РЗЭ все шире используются в промышленности.

Как бы в награду всем физикам и химикам за распутывание головоломки с редкоземельными элементами, одновременно отыскался ключ к пониманию химии элементов, стоящих в самом конце периодической таблицы, включая искусственно синтезированные элементы.

Этот ряд тяжелых элементов открывается актинием (номер 89), который в таблице расположен сразу под лантаном. У актиния 2 электрона расположены на внешней Q-оболочке, а у лантана 2 электрона — на внешней P-оболочке. Но последний, 89-й электрон актиния находится на предшествующей P-оболочке, точно так же последний, 57-й электрон у атома лантана занимает предпоследнюю O-оболочку. Возникает законный вопрос: продолжится ли заполнение P-уровня и будут ли все следующие за ним элементы обычными переходными металлами? Или же повторится ситуация с лантанидами, когда электроны «ныряют» на более глубокие уровни? Если верно последнее предположение, то актиний должен стать родоначальником еще одного семейства редкоземельных металлов.

В природе из этого семейства встречаются лишь актиний, торий, протактиний и уран. До 1940 года они не привлекали особого внимания исследователей. Из того, что было о них к тому времени известно, создавалось впечатление, что это обычные переходные элементы. Но когда к этому списку добавились искусственно синтезированные нептуний и плутоний, подвергшиеся тщательному исследованию, оказалось, что по химическим свойствам они сильно напоминают уран. Это побудило Г. Сиборга высказать предположение, что у тяжелых элементов действительно — аналогично лантанидам — происходит последовательное заполнение внутренних свободных подуровней, поэтому они так сходны между собой. И чем больше трансурановых элементов добавлялось в этот список, тем больше укреплялась эта точка зрения, которая в наши дни уже ни у кого не вызывает сомнения.

У актинидов происходит заполнение четвертого подуровня О-оболочки, которое заканчивается у лоуренсия (номер 103). И все элементы от актиния до лоуренсия имеют практически одинаковые химические свойства, подобно лантану и лантанидам. Получено убедительное доказательство высокой степени химического «родства» актинидов. Трансурановые элементы прекрасно разделяются методом ионообменной хроматографии, аналогично разделению лантанидов.

Начиная со 104-го элемента электроны должны размещаться уже на Р-уровне, что предопределяет их сходство с гафнием. Может быть получена новая серия редкоземельных элементов, вот почему химики с такой надеждой и интересом относятся к получению и исследованию 104-го элемента.

Газы

Еще на заре химии было известно, что многие вещества могут существовать в форме газа, жидкости или твердом состоянии, в зависимости от температуры. Наиболее известным примером является вода: если ее достаточно охладить, она замерзает, а если подогреть, превращается в пар. Ван Гельмонт, предложивший термин «газ», разделял вещества на те, которые имеют газообразный вид при обычной температуре, такие, как двуокись углерода, и те, которые наподобие водяного пара становятся газами лишь при достаточном нагреве. Последние вещества он называл *парами*, и мы до сих пор говорим «водяной пар», а не «водяной газ».

Изучение газов, или паров, сильно привлекало внимание химиков, в первую очередь из-за возможности количественных измерений. Законы их поведения были просты, и они легче поддавались пониманию, чем жидкости или твердые вещества.

В 1787 году французский физик Ж. Шарль обнаружил, что при охлаждении газа на 1 градус его объем снижается примерно на $1/273$ первоначальной величины, а нагрев на 1 градус приводит к такому же увеличению объема. Опыты с нагреванием газов особых трудностей не представляли, а вот что касается охлаждения, тут возникала проблема, поскольку, согласно закону Шарля (названному так в честь открывателя), при охлаждении до -273°C газ должен был превратиться в ничто! Этот парадокс не особенно беспокоил химиков, которые понимали, что закон Шарля не распространяется на всю температурную шкалу, а кроме того, они просто не могли в то время даже приблизиться к столь низкой температуре.

Развитие атомистической теории и понимания молекулярной природы газов привели к новой ситуации. Стало понятно, что объем газа определяется скоростью составляющих его молекул. Чем выше температура и чем быстрее двигаются молекулы, тем дальше они разбегаются и тем больше им требуется пространства. Соответственно, чем ниже температура, тем медленнее движение молекул, тем меньше требуется пространства и тем меньше занимаемый газом объем. В 1860 году британский химик В. Томсон, который только что получил почетный титул лорд Кельвин, высказал идею, что средняя энергия молекул с каждым градусом понижается на величину $1/273$ и что при охлаждении к нулю стремится не объем газа, а его энергия. Из этого предположения вытекало, что такой «нулевой» энергетической точкой является температура около -273°C . Следовательно, эта величина и является минимально возможной температурой. Именно эта температура (как позже было уточнено, $-273,16^\circ\text{C}$) и принята за *абсолютный нуль*, или *нуль Кельвина*. По шкале Кельвина температура плавления льда 273°K .¹

Естественно, у физиков возник огромный интерес попытаться достичь абсолютного нуля. Это был своего рода далекий горизонт, манивший первооткрывателей. Еще до открытия Томсона исследователи, занимавшиеся проблемой низких температур, целью своих экспериментов ставили получение сжиженных газов. В 20-х годах XIX века М. Фарадей установил, что даже при обычных температурах многие газы переходят в жидкое состояние за счет давления и получил жидкий хлор, двуокись серы и аммиак. В жидком виде эти вещества могут служить в качестве эффективных охладителей. По мере медленного снижения давления сжиженного газа они испаряются, поглощая тепло из оставшейся жидкости. (Холодок, который вы ощущаете на мокрой руке, вызван испарением с нее воды.) Этот общий принцип лежит в основе всей современной холодильной техники.

¹ Кельвин — единица термодинамической температуры. До 1968 г. именовалась градус Кельвина ($^\circ\text{K}$). Названа в честь У. Томсона (Кельвина). Единица Международной практической температурной шкалы; одна из основных единиц СИ $1\text{K} = 1^\circ\text{C}$.

Ранее, в 1755 году шотландский химик В. Каллен получил лед механическим путем, создав вакуум над поверхностью воды в герметичной емкости, что вызвало быстрое испарение и понижение температуры до точки замерзания. В современных холодильниках и кондиционерах сжиженный под давлением газ циркулирует по трубкам внутри камеры, где происходит его быстрое испарение и эффективное поглощение тепла из окружающего пространства.

Вода для этих целей непригодна, поскольку замерзший лед может разорвать трубопровод. В 1834 году американский изобретатель Д. Перкинс запатентовал в Великобритании устройство для охлаждения, где в качестве хладагентов использовались такие газы, как двуокись серы и аммиак. Однако недостаток этих веществ состоит в их ядовитости или горючести. Почти 100 лет спустя, в 1930 году, американский химик Т. Миджли предложил использовать в качестве хладагента дихлордифторметан (CF_2Cl_2), больше известный под торговой маркой фреон. Этот нетоксичный и негорючий газ отлично подошел для поставленной цели. С этого времени холодильники получили широкое распространение, как в быту, так и в промышленности.

Охлаждение в широком масштабе используется в воздушных кондиционерах, названных так потому, что они доводят воздух до нужного качества (кондиций), то есть очищают его от влаги, пыли и вредных газовых примесей. Первый кондиционер изобрел в 1902 году американец В. Кэрриер, а начиная со Второй мировой войны кондиционирование воздуха в США стало практически повсеместным.

Тот же принцип позволяет достичь и чрезвычайно низких температур. Это возможно, если сжиженный газ помещен в надежно изолированную емкость и в ходе испарения охлаждается лишь сама жидкость. Еще в 1835 году была получена температура -110°C (163°K). Водород, кислород, окись углерода и некоторые другие вещества не сжижались при этой низкой температуре даже с использованием высоких давлений. После многочисленных и безуспешных попыток перевести их в жидкую форму они получили название постоянные газы.

В 1869 году ирландский физик Т. Эндрю опытным путем установил, что у каждого газа имеется своя критическая температура, выше которой его невозможно перевести в жидкость при любом давлении. Это явление позднее удалось объяснить на строго теоретической основе голландскому физiku Й. Ван дер Ваальсу, за что ему была присуждена Нобелевская премия за 1910 год.

Следовательно, чтобы наверняка сжидить тот или иной газ, необходимо обязательно снизить температуру ниже критического уровня. Поэтому, чтобы «приручить» непокорные газы, ученые направили усилия на достижение еще более низких температур. В результате был открыт «каскадный» метод ступенчатого охлаждения. Вначале путем испарения жидкой двуокиси серы произво-

дили сжижение двуокиси углерода, который далее использовался для сжижения более низкокипящего газа, и т. д. В 1877 году швейцарский физик Р. Пикте, наконец, сумел получить жидкий кислород при температуре -140°C (133°K) и давлении 500 атмосфер. Примерно в то же время его французский коллега Л. Кальетт сумел сжидить не только кислород, но также азот и окись углерода. В свою очередь, эти сжиженные газы позволили добиться еще более низких температур. Ведь точка кипения кислорода при обычном атмосферном давлении составляет -183°C (90°K), окиси углерода -190°C (83°K) и азота -195°C (78°K).

Жидкий водород не удавалось получить вплоть до 1900 года, когда новую схему охлаждения придумал шотландский химик Д. Дьюар. Немного ранее Кельвин-Томсон и Дж. Джоуль показали, что даже в естественном состоянии газ можно эффективно охладить, если дать ему резко расшириться и одновременно изолировать от внешнего нагрева. При этом достигается достаточная для начала сжижения температура. С помощью описанного приема Дьюар резко снизил температуру сжатого водорода до -200°C в сосуде, охлаждаемом со всех сторон жидким азотом. Затем он предоставил возможность предварительно охлажденному водороду еще больше расшириться, повторяя этот цикл еще и еще раз и по трубкам возвращая охлажденный водород в сосуд. Подвергнутый процедуре Джоуля—Томсона сжатый водород в конце концов перешел в жидкое состояние при температуре -240°C (33°K). Продолжая этот ступенчатый процесс и дальше, ученый сумел даже перевести водород в твердое состояние.

Чтобы надежнее сохранить полученные сверхохлажденные жидкие газы, Дьюар изобрел специальный сосуд, который состоял из двух стенок, между которыми был вакуум, а внутренняя стенка была покрыта зеркалом из серебра. В такой сосуд тепло практически не попадало (и не терялось). Сосуд Дьюара является прямым предтечей знакомых всем бытовых термосов.

В 1895 году английский изобретатель В. Хэмпсон и немецкий физик К. Линде разработали промышленный метод сжижения и сепарирования воздуха. Чистый кислород, отделенный от азота, стал ценным промышленным продуктом. Главным образом (с количественной точки зрения) он использовался в газовых горелках, для сварки. Но наиболее важной областью применения кислорода стали аппараты жизнеобеспечения — в медицине (кислородные подушки), авиации, на подводных лодках, космических кораблях и т. д.

С появлением ракетной техники сжиженные газы приобрели еще большее значение, поскольку запуск ракеты невозможен без очень быстрого сгорания горючего с мгновенным выделением огромного количества энергии. Наиболее распространенный тип ракетного топлива — это сочетание жидкого горючего, такого, как керосин или спирт, и кислорода. Естественно, кислород или его

аналоги-окислители выгоднее заливать в топливные баки в жидком виде.

Эффективность смеси горючего с окислителем количественно определяется «удельным импульсом». Под этим параметром понимается количество килограммов груза, которое можно поднять в воздух при сгорании одного килограмма топливной смеси в течение одной секунды. Например, для керосин-кислородной смеси эта величина составляет 242. Поскольку подъемная мощь ракеты зависит от ее удельного импульса, продолжается поиск новых эффективных комбинаций окислителя и горючего. С этой точки зрения оптимальным вариантом горючего является жидкий водород, который может обеспечить удельный импульс порядка 350. А если вместо кислорода взять жидкий озон или жидкий фтор, эту величину можно довести до 370.

Поиски наилучшего топливного состава проводятся в нескольких направлениях. Некоторые легкие металлы: литий, бор, магний, алюминий и особенно бериллий при сгорании в кислороде выделяют энергии даже больше, чем водород. Однако некоторые из этих металлов малодоступны, а кроме того, пока не решены технические проблемы, связанные с трудностью их возгорания, образованием плотного дыма, состоящего из окисленных частиц и т. д.

Были также сделаны попытки создать новое твердое топливо, включающее в себя окислитель (наподобие пороха, который использовался для запуска первых ракет, но с большей реактивной силой). Такие виды топлива называются *монопропелленты*, поскольку имеют в составе все необходимые компоненты и не требуют дополнительного окислителя. Соответственно те виды топлива, которые нуждаются в окислителе, называются *бипропелленты*. Монопропелленты, как правило, удобнее в хранении и обращении, а процесс их горения, несмотря на быстроту, поддается достаточно надежному контролю. Основная трудность в данном случае заключается в достижении удельного импульса, не уступающего по величине бипропеллентам.

Другой вариант — это использование атомарного водорода, который Лэнгмюр впервые применил в качестве топлива для газовой горелки. Было подсчитано, что ракетный двигатель, работающий на основе рекомбинации водородных атомов в молекулы, способен развить удельный импульс более 1300 единиц. Главная проблема связана с хранением атомарного водорода. Наилучшим вариантом пока считается быстрое и глубокое охлаждение атомарного водорода сразу после его получения. Исследования Национального бюро стандартов США показали, что лучше всего атомы водорода сохраняются в твердой, глубоко охлажденной форме, например замороженном кислороде или аргоне. Для привода водородного топлива в действие достаточно подогреть эти «замороженные контейнеры», в результате водород-

ные атомы освобождаются и приступят к рекомбинации в молекулы. Даже при 10-процентном содержании атомарного водорода такие системы могут обеспечить намного больший импульс, чем дают самые эффективные из традиционных видов топлива. Но разумеется, для их практического использования требуются чрезвычайно низкие температуры — намного ниже температуры жидкого азота. Твердые матрицы необходимо охладить ниже -272°C , то есть всего на несколько градусов выше абсолютного нуля.

Еще одно направление — ионные двигатели. Каждый ион в отдельности, выбрасываемый таким генератором, дает микроимпульс, однако действие каждого толчка продолжается достаточно долго, поскольку космический корабль движется по орбите в безвоздушном пространстве, где трение фактически полностью отсутствует. Постепенно ускоряясь за счет постоянных, хотя и слабых ионных импульсов, ракета может достичь огромных скоростей. Оптимальным веществом для таких ионных двигателей является цезий, который легко расстается со своим единственным внешним электроном и ионы которого — под действием направленного электрического поля — разгоняют корабль по принципу реактивного двигателя.

Но возвратимся к проблеме низких температур. Даже сжижение и отверждение водорода не означало окончательной победы ученых над царством холода. После решения проблем с водородом снова пришла очередь инертных газов; самый легкий из них, гелий, упорно не хотел сжижаться даже при самых низких температурах. И лишь в 1908 году голландский физик Х. Оннес решил эту задачу. Он усовершенствовал технологию Дьюара. С помощью жидкого водорода он охладил гелий под давлением до -255°C (18°K), после чего позволил газу расшириться, в результате тот еще сильнее охладился и перешел в жидкое состояние. Путем испарения жидкого гелия ученый сначала достиг температуры 4°K , при которой гелий оставался жидким даже при атмосферном давлении, а затем спустился почти до самого «дна» ($0,7^{\circ}\text{K}$). За свои достижения в этой области Оннес удостоен Нобелевской премии по физике за 1913 год. (Но теперь известен более простой метод сжижения гелия. В 1947 году американский химик С. Коллинз изобрел криостат, в котором — за счет поочередного сжатия и расширения — ему удалось получить около 10 литров жидкого гелия всего за час.) Тем не менее Оннес не просто достиг самой низкой температуры. Он одним из первых обратил внимание на те удивительные свойства, которые приобретают вещества в таких экстремальных условиях.

Одно из таких свойств — необычное явление, названное *сверхтекучестью*. В 1911 году Оннес измерял электрическое сопротивление ртути при низких температурах. При этом ожидалось, что сопротивление должно непрерывно падать за счет ослабления колебаний атомов в кристаллической решетке охлажденного ве-

щества. Однако при температуре $4,12^{\circ}\text{K}$ электрическое сопротивление ртути исчезло совсем! И электрический ток протекал через металл без потерь. Вскоре было установлено, что и другие металлы при глубоком охлаждении становятся сверхпроводниками. Так, свинец приобретает это свойство при $7,22^{\circ}\text{K}$. Электрический ток в несколько сот ампер без потерь циркулировал по свинцовому кольцу, помещенному в жидкий гелий, на протяжении двух с половиной лет.

Низкокипящие жидкости поддерживают температуру помещенных в них материалов на уровне точки кипения этих жидкостей. С этой точки зрения водород, кипящий при $20,4^{\circ}\text{K}$, является весьма подходящим веществом для поиска новых материалов, становящихся сверхпроводимыми при сравнительно высоких абсолютных температурах. Только такие материалы могут быть хорошо исследованы и найдут практическое применение, поскольку жидкий гелий весьма дорог и с ним трудно работать. Уже известны сплавы, главным образом на основе ниобия, которые становятся сверхпроводниками при более высокой температуре, чем любой из чистых металлов. Например, в 1968 году был обнаружен сплав ниобия, алюминия и германия, который переходит в сверхпроводящее состояние при температуре 21°K . Таким образом, *высокотемпературные сверхпроводники* хотя и редко, но встречаются¹.

Одно из применений сверхпроводимости связано с магнетизмом. При прохождении электрического тока в проводнике, намотанном на стальной стержень, возникает сильное магнитное поле — чем выше ток, тем мощнее поле. К сожалению, с ростом тока в обычных условиях увеличивается и нагрев системы, что ограничивает возможную силу тока. А в случае сверхпроводников это ограничение снимается, и в принципе через него можно практически без потерь пропускать сколь угодно большой ток, обеспечивающий мощное электромагнитное поле.

Однако тут возникает другая проблема. В тот момент, когда вещество становится сверхпроводящим, оно одновременно превращается в абсолютный *диамагнетик*, то есть магнитное поле не проникает в сверхпроводник. Этот эффект, открытый в 1933 году, носит имя автора, В. Мейснера. Однако сильное магнитное поле может привести к исчезновению сверхпроводимости и даже при температурах существенно ниже точки перехода. Это происходит в результате большой концентрации в окружающем пространстве силовых линий, когда некоторые из них проникают внутрь сверхпроводника и разрушают условия, необходимые для сверхпроводимости.

¹ В 1980-х гг. был открыт новый тип высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) на основе смешанных оксидов металлов, в частности иттрия, бария и меди, строго определенного состава. Исследования продолжаются, но уже сейчас известны композиты, которые становятся сверхпроводниками при температурах выше 100 K . (*Примеч. пер.*)

Предпринимались попытки отыскать сверхпроводящие вещества, устойчивые к действию сильных магнитных полей. К числу таких материалов относится, например, оловянно-ниобиевый сплав с температурой перехода в сверхпроводящее состояние около 18°K . Этот сплав выдерживает работу в магнитных полях напряженностью до 250 000 гауссов, что представляет немалую величину. Сам сплав был открыт еще в 1954 году, но при этом оказался крайне хрупким, и лишь спустя шесть лет ученым удалось изготовить достаточно прочные проводники нужной формы. Еще лучшие свойства продемонстрировали электромагниты на основе сплава галлия с ванадием, который выдерживает магнитные поля до 500 000 гауссов.

Другое необычное явление, характерное для сверхнизких температур, связано с гелием и получило название *сверхтекучесть*.

Гелий — единственное вещество, которое не удастся перевести в твердое состояние, даже при абсолютном нуле. В нем всегда остается некоторое количество энергии, которую не удастся забрать и которой достаточно, чтобы придать атомам гелия невероятную подвижность. Они свободно «скользят» друг по другу, из-за чего гелий остается жидким. А в 1905 году немецкий физик Г. Нернст доказал, что при абсолютном нуле не исчезает не только энергия, но и непосредственно связанная с ней *энтропия*. За это открытие ему была вручена Нобелевская премия по химии за 1920 год. Все это, однако, не значит, будто твердый гелий невозможен ни при каких условиях. Расчеты показывают, что его можно получить лишь при температуре ниже 1°K и давлении 25 атмосфер.

В 1935 году В. Кеезом вместе с сестрой, работавшей с ним в лаборатории Оннеса, обнаружили, что жидкий гелий при температуре $2,2^{\circ}\text{K}$ является почти идеальным проводником тепла. Передача тепла происходит столь быстро (со скоростью звука), что во всей массе гелия температура остается неизменной. А поскольку образования нагретых участков в общей массе — как в случае обычных жидкостей — не происходит (если можно говорить о нагревании при температуре на два градуса выше абсолютного нуля), то нет и традиционных признаков вскипания — образования пузырьков и пара. Процесс испарения можно контролировать лишь по спокойному опусканию верхнего края жидкости в криостате, словно невидимый нож равномерно срезает слой за слоем.

Русский ученый Петр Леонидович Капица, исследовавший особенности жидкого гелия, установил, что причина идеальной теплопроводности этого вещества основана на его сверхтекучести, которая обеспечивает почти мгновенную передачу энергии от одного участка к другому — почти в 200 раз быстрее такого отличного проводника, как медь. Текучесть гелия намного выше, чем у любого газа, его вязкость составляет лишь $1/_{200}$ от вязкости газообразного водорода. Поэтому он легко просачивается даже

через такие крошечные щели, где не проходят другие газы. Образованная сверхтекучей жидкостью пленка скользит по стеклу с такой скоростью, словно сливается в отверстие. Если открытый сосуд с жидким гелием поместить внутрь большего по величине пустого контейнера, то жидкость поднимается по стеклянным стенкам, перебирается через край и быстро заполняет наружную емкость, пока уровни в обоих сосудах не сравняются.

Гелий — единственное вещество, обладающее свойством сверхтекучести. В этом состоянии его свойства столь кардинально отличаются от того же вещества при температуре выше переходной ($2,2\text{ }^{\circ}\text{K}$), что ему было присвоено отдельное имя, гелий II, чтобы подчеркнуть различие с обычным гелием, носящим имя гелий I.

Благодаря гелию удается проводить опыты при температурах вблизи абсолютного нуля, поэтому он стал незаменимым инструментом, как в фундаментальных, так и прикладных исследованиях. Содержание гелия в атмосфере весьма незначительно, поэтому его извлекают главным образом из природного газа, куда он попадает, просачиваясь из земной коры, где накопился в результате распада урана и тория. Самое богатое гелием (7,5 процента) месторождение находится в штате Нью-Мексико (США).

Под впечатлением необычных физических явлений, обнаруженных вблизи абсолютного нуля температур, ученые желали максимально приблизиться к нижней температурной границе, направив усилия на развитие новой области, которая получила название *криогенная техника*. В определенных условиях испарение гелия позволяет получить температуру порядка $0,5\text{ }^{\circ}\text{K}$. (Кстати, точное измерение температуры на таких уровнях производят специально разработанными приборными методами, например с помощью сверхточных термомпар, по изменению сопротивления несверхпроводящих материалов, по изменению магнитных параметров и даже по скорости распространения звука в массе жидкого гелия.) Температура намного ниже $0,5\text{ }^{\circ}\text{K}$ была достигнута способом, который впервые предложил в 1925 году голландский физик П. Дебай. Для этого *парамагнитный* материал (вещество, у которого возникает магнитный момент в направлении внешнего поля) подносится почти к самой поверхности жидкого гелия, но остается отделенным от последнего тонким слоем газа. Затем температура системы понижается до $1\text{ }^{\circ}\text{K}$, и все вместе помещается в магнитное поле. Молекулы парамагнитного вещества располагаются параллельно линиям магнитного поля, выделяя при этом тепло, которое удаляется из системы за счет частичного испарения жидкого гелия. После того как магнитное поле выключается, парамагнитные молекулы мгновенно теряют упорядоченную ориентацию и происходит поглощение тепла из окружающего жидкого гелия. Таким образом достигается понижение температуры.

Та же процедура повторяется снова и снова, всякий раз сопровождаясь понижением температуры жидкого гелия. Впоследствии за усовершенствование этой технологии американский химик В. Джок был удостоен Нобелевской премии по химии за 1949 год. Благодаря этому способу в 1957 году удалось достичь температуры $0,00002^\circ\text{K}$.

В 1962 году английский физик Х. Лондон вместе со своими коллегами разработал методику достижения еще более низкой температуры. Им были зафиксированы еще две разновидности гелия, гелий III и гелий IV. Обычно они полностью перемешаны между собой, но при температуре ниже $0,8^\circ\text{K}$ гелий III накапливается в верхнем слое жидкости, хотя частично остается и в нижней фракции вместе с гелием IV. Оказалось, что если заставить гелий III перемещаться вверх и вниз между двумя фракциями, то можно добиться дальнейшего понижения температуры, аналогично газожидкостному состоянию фреона в обычном холодильнике. Охлаждающие устройства, действующие по этому принципу, впервые были изготовлены в СССР в 1965 году.

Исходя из других интересных особенностей гелия III, в 1950 году советский физик И. Померанчук разработал новый способ глубокого охлаждения. В результате нового экспериментального подхода была достигнута температура $0,000001^\circ\text{K}$. Разумеется, приблизившись почти вплотную к вожденному температурному нулю, физики не могли преодолеть соблазн избавиться от последних следов энтропии и добраться до заветной отметки.

Однако не тут-то было! Как твердо заявил Нернст в своей лекции по поводу вручения ему Нобелевской премии, это *принципиально* невозможно. (Сам принцип сформулирован в 3-м законе термодинамики.) При любом понижении температуры можно удалить лишь часть энтропии. Говоря обобщенно, удаление из системы половины энтропии представляется трудновыполнимым делом независимо от конкретных условий задачи. Это замечание справедливо как при переходе от 300°K (обычная комнатная температура) до 150°K (самая низкая температура, зафиксированная в Антарктиде), так и при понижении температуры с 10°K до 5°K . Аналогично задача понизить температуру с одной миллионной доли градуса до половины той же миллионной доли так же сложна, как и опуститься с 300°K до 150°K . А если это все-таки удастся, то спуститься на следующую ступень будет не менее трудно. Таким образом, дорога к абсолютному нулю пролегает через бесконечный ряд таких ступеней, каким бы близким он ни казался.

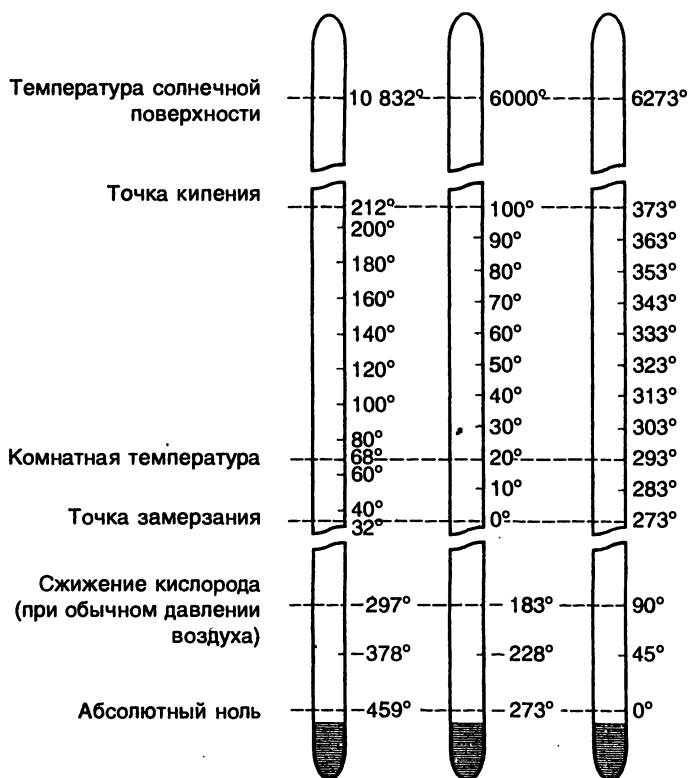
В результате работ по сжижению газов появилось новое научное направление, связанное с высокими давлениями. Оказалось, что под действием таких давлений не только газы, но и

другие вещества коренным образом меняют свои свойства, что позволяет получить новые сведения как о природе материи в целом, так и о внутреннем устройстве нашей планеты. Например, на глубине 7 миль давление достигает 1000 атмосфер, на глубине 400 миль — 200 000 атмосфер, 2000 миль — 1 400 000 атмосфер, а в центре Земли, на глубине около 4000 миль — целых 3 миллиона атмосфер! (Конечно, Земля не так уж и велика. Скажем, давление в центре Сатурна оценивается величиной 50 миллионов атмосфер, а у Юпитера — 100 миллионов атмосфер.)

Самое высокое давление, которое удалось получить в лабораторных условиях в XIX веке, достигало 3000 атмосфер. Однако уже в 1905 году американский физик П. Бриджмен разработал новую методику, которая позволила добиться давления величиной 20 000 атмосфер, которого не выдержала даже стальная камера, где он проводил свои опыты. Сконструировав более прочную камеру, он продолжил свои эксперименты и сумел добиться давления в миллион атмосфер. За свои работы в области высоких давлений он получил Нобелевскую премию по физике за 1946 год.

С помощью сверхвысоких давлений (СВД) Бриджмен сумел сжать атомы и молекулы, переводя их в более компактные по строению материалы, некоторые из них сохраняли свою структуру и после снятия давления. В частности, он превратил обычный желтый фосфор, типичный электроизолятор, в черную разновидность того же фосфора, который достаточно хорошо проводит электрический ток. Он сумел добиться впечатляющих изменений даже в случае обыкновенной воды. Как мы знаем, обычный лед легче воды. Но, приложив высокое давление, Бриджмен получил целую серию новых видов льда (лед-II, лед-III и т. д.), которые были не только тяжелее воды, но таяли при температуре намного выше обычной (0 °C). А один из образцов оставался твердым при температуре выше температуры кипения воды!

Но самым блестящим (в прямом и переносном смысле) достижением СВД-технологий стали искусственные алмазы. Алмаз — это всего лишь, как и простой графит, особая кристаллическая форма углерода. (Когда элемент встречается в различных формах, это называется *аллотропией*. Алмаз и графит представляют самый яркий пример такого явления. В качестве другого примера можно привести кислород и озон.) Химическую природу алмаза впервые установил в 1772 году А. Лавуазье с сотрудниками. Приобретя несколько алмазов на свои собственные средства, они накаляли их до температуры горения, после чего определили состав получившегося газа. Им оказалась обычная двуокись углерода. Немного позднее английский химик С. Теннант рассчитал, что полученное ими количество двуокиси соответствует чистому углероду, а в 1799 году французский химик Г. де Морво подтвердил этот вывод, превратив алмаз в кусок обычного графита.



Сравнение температурных шкал Фаренгейта, Цельсия и Кельвина

Сами по себе такие опыты были весьма убыточны, но вместе с тем они зародили у людей надежду на возможность обратных превращений. Алмаз в 55 раз плотнее графита. Тогда почему бы графит не подвергнуть высокому давлению и не заставить его атомы перестроиться по типу кристаллической решетки алмаза?

В результате многочисленных опытов и огромного количества затраченных сил и средств некоторые экспериментаторы в конце концов добились успеха. Наиболее известны опыты французского химика Ф. Муассана, который в 1893 году растворил графит в расплавленном железе, а после охлаждения расплава и его дробления якобы выделил крошечные алмазики. Большая часть полученных образцов была мутно-черного цвета, но среди них нашлся один бесцветный кристалл длиной почти миллиметр. Эти результаты стали достоянием широкой общественности, и долгое время все ожидали начала промышленного производства синтетических алмазов по методу Муассана. Однако его результаты так и не удалось никому повторить.

У синтеза искусственных алмазов имелась и своя теневая сторона. В 1891 году американский изобретатель Э. Ачесон в ходе опытов наткнулся на карбид кремния, который получил название карборунд. Это вещество по твердости превосходило все известные тогда материалы, за исключением алмаза, поэтому карборунд нашел широкое применение в качестве высокоэффективного абразивного материала — для резания, измельчения, полировки и других технологических операций.

Эффективность абразивного инструмента определяется его твердостью. Абразив способен размалывать или полировать только те вещества, которые мягче его. По твердости на самой вершине находится «его королевское величество» алмаз. Для оценки относительной твердости веществ используется шкала Мооса, предложенная немецким минерологом Ф. Моосом в 1818 году. Согласно этой шкале за эталоны твердости от 1 до 10 взяты 10 минералов, начиная с талька (1) и до алмаза (10). Метод измерения твердости основан на нанесении царапин: минерал с тем или иным номером оставляет царапину на всех образцах шкалы с более низкими номерами. По шкале Мооса карборунду присвоен номер 9. Такое положение, однако, выглядит не слишком справедливым. Ведь по абсолютной шкале разница в твердости алмаза и карборунда в 4 раза превышает аналогичную разницу между карборундом и тальком, который стоит в самом низу.

Наконец, в 1930-х годах химики подобрали режим и условия превращения графита в алмаз под действием высокого давления. Выяснилось, что для этого необходимо давление не менее 10 000 атмосфер, но и в этих условиях процесс протекает крайне медленно. С ростом температуры конверсия ускоряется, но при этом необходимо и более высокое давление. Так, при 1500 °С необходимо поддерживать давление не менее 30 000 атмосфер. Эти результаты убедили всех, что Муассан и его современники — в тех условиях, которые они могли создать в то время, — просто не могли получить никаких алмазов, так же как алхимики — золото. (Существует свидетельство, что Муассан стал жертвой мистификации одного из своих помощников, который, устав от бессмысленных опытов, решил положить им конец и подбросил в расплав железа горстку настоящих алмазов.)

Опираясь на пионерские работы Бриджмена по достижению высоких значений температуры и давления, специалисты американской компании «Дженерал электрик» добились результата в 1955 году. Для этого они применили давление выше 100 000 атмосфер и температуру до 2500 °С. Кроме того, для покрытия графита жидкой пленкой в реактор было добавлено небольшое количество металлического хрома. Именно эта металлическая пленка инициировала превращение графита в алмаз. В 1962 году при давлении в 200 000 атмосфер и температуре 5000 °С удалось совершить аналогичное превращение без добавки катализатора.

Синтетические алмазы очень малы в размере и загрязнены примесями, поэтому непригодны для использования в ювелирных украшениях, однако в наше время они производятся в промышленном масштабе, используются для изготовления режущего инструмента и незаменимы в качестве высокоэффективных абразивных материалов в самых различных отраслях.

По сходной методике научились синтезировать и другие замечательные материалы. Например, соединение бора с азотом (нитрид бора) по свойствам очень напоминает графит (за исключением цвета: нитрид бора белого цвета, а графит черного). Под действием высокого давления и температуры кристаллическая решетка нитрида бора перестраивается, и он превращается в вещество, напоминающее алмаз. Новый материал, получивший название боразон, в 4 раза тверже уже упоминавшегося карборунда. Помимо этого, боразон обладает большим преимуществом за счет большей термической устойчивости. Скажем, алмаз сгорает уже при 900 °С, а боразон спокойно выдерживает и более высокие температуры. Кроме алмаза и боразона, в настоящее время учеными синтезированы методом высоких давлений многие десятки соединений с необычными свойствами.

Металлы

Основная часть элементов в периодической таблице — металлы. При этом лишь около 20 элементов из 102 определенно можно отнести к неметаллам. Следует отметить, что металлы сравнительно поздно вошли в человеческую практику. Одна из причин этого состоит в том, что, за редким исключением, металлические элементы встречаются в природе лишь в форме соединений с другими элементами, поэтому их не так легко распознать или выделить в чистом виде. Первобытный человек вначале использовал лишь материалы, пригодные для самых простых операций: измельчения, резания, обтесывания, рубки и т. д. Поэтому круг подручных средств долгое время ограничивался костями, камнями и деревом.

Впервые металлы стали попадать в человеческие руки в форме найденных остатков метеоритов, небольших слитков золота или кусков металлической меди, найденных в золе костра, случайно разложенного на месте выхода на поверхность медной руды. В любом случае люди, находившие такие странные материалы, отличались достаточным любопытством (и удачливостью), поэтому они пытались приспособить эти находки для своих нужд и постоянно находили им новые применения. Металлы сильно отличались от скал и камней, среди которых они изредка попадались, а в результате полировки начинали красиво и загадочно блестеть. Их можно было расплющить в тонкие листы, а вытя-

нув, превратить в проволоку. Кроме того, их можно было переплавить в любую форму. Они были намного привлекательнее и удобнее в использовании, чем привычные камни, хорошо подходили для украшений, где они использовались задолго до какого-нибудь практического применения.

Из-за своей редкости, привлекательного вида и долговечности первые металлы очень ценились и постепенно стали важным средством обмена между людьми, наряду с обычным обменом. На первом этапе металлы (золото, серебро, медь) использовали в торговле, просто отмеряя нужное количество по весу, но к 700 году до нашей эры стандартные по весу куски металлов стали метить официальной печатью правителя. Первые монеты, в измененном виде дожившие и до наших дней, появились в Древней Греции: Лидии (Малая Азия) и на острове Эгина в Эгейском море.

Но самое важное открытие связано с возможностью делать из металла орудия с более острым лезвием, чем из камня. Металлы оказались очень прочным материалом. Если дерево в огне сгорало, а камень трескался, то металл лишь слегка деформировался. Все эти преимущества намного перевешивали тот факт, что металлы тяжелее дерева или камня и менее доступны.

Первым металлом, который появился в достаточном количестве, была медь, а случилось это примерно в 4000 году до нашей эры. Сама по себе медь слишком мягка для изготовления оружия или инструментов (хотя очень подходит для украшений). Однако в природе она встречается и в форме сплавов с небольшим количеством мышьяка или сурьмы, которые намного тверже чистой меди. Встречаются и медно-оловянные руды. Сплав меди с оловом (бронза) оказался достаточно прочным для производства оружия. Очень скоро люди догадались специально добавлять в медь олово. Так бронзовый век пришел на смену каменному веку — сначала в Египте и Западной Азии (около 3000 года до нашей эры), а затем и в Юго-Восточной Европе (2000 год до нашей эры). Этот период истории нашел яркое отражение в поэмах Гомера «Илиада» и «Одиссея».

Практически одновременно с бронзой человек познакомился и с железом, но долгое время его единственным источником были метеориты. Оно считалось драгоценным металлом, который редко использовался в обычной жизни, пока люди не научились плавить железную руду и получать железо в достаточном количестве. Главные трудности заключались в получении пламени с достаточно высокой температурой, а также в способе добавления к железу углерода, чтобы придать ему твердость и получить сплав, который теперь мы называем *сталь*. Впервые плавить железо из руды начали где-то в Малой Азии примерно в 1400 году до нашей эры, откуда эта технология медленно распространилась среди соседних народов.

Поскольку железные мечи прочнее бронзовых, вооруженная ими армия была намного сильнее. Впервые железное вооружение появилось у племени хеттов в Малой Азии (современная Турция). Около 800 года до нашей эры, полностью оснастив свои войска новым оружием, они установили господство на всем Ближнем Востоке и в Египте, которое длилось более двух с половиной веков. Примерно в то же время дорийские племена, вооружившись железными мечами, вторглись в Северную Грецию, покорив живших там ахейцев, которые задержались в бронзовом веке.

Железо получали путем нагрева железной руды (оксид железа) с углем. При этом углерод соединялся с кислородом окиси железа, а на дне печи оставалось металлическое железо. В древние времена людям еще не удавалось добиться температуры, достаточной для плавления железа, поэтому конечному продукту придавали нужную форму ковкой. В широком масштабе железная металлургия появилась только в Средние века, когда были построены специальные печи, в которых, наконец, удалось добиться необходимых для плавления железа температур. Расплавленное железо уже можно было отливать в формы, поэтому оно получило название литейное железо, или попросту *чугун*. Такой металл был уже намного дешевле и тверже ковкого железа, но слишком хрупким и не поддавался кузнечной обработке. Огромная потребность в железе привела к тому, например, что в Англии были вырублены практически все леса, древесина пошла на топливо для плавильных печей. Но в 1780 году англичанин А. Дарби обнаружил, что для этих целей — еще лучше, чем древесина и древесный уголь, — подходит кокс (каменный уголь, обогащенный углеродом в специальных печах без доступа воздуха). Это спасло леса от полного истребления, и уже в начале XIX века металлурги почти полностью перешли на каменный уголь.

Но лишь в конце XVIII века благодаря французскому химику Р. де Реомюру стало понятно, что прочность и твердость железа определяется содержанием в нем углерода. Оптимальная концентрация углерода находится в интервале от 1,2 до 1,5 процента; сталь такого состава, как правило, намного прочнее и тверже, чем любой образец ковкого железа или чугуна. Однако до середины XIX века высококачественную сталь выплавляли очень сложным путем, осторожно добавляя нужное количество углерода в расплав ковкой стали (которая сама по себе недешева). Поэтому долгое время сталь оставалась «предметом роскоши» и применялась лишь там, где ее нечем было заменить, — например, для изготовления холодного оружия и пружин.

Век стали начался с открытия британского инженера Г. Бессемера, который хотел создать артиллерийское орудие с нарезным стволом для более точной стрельбы. Такое орудие можно было

изготовить только из особо прочной стали, поскольку его ствол должен был выдерживать более высокие давления, чем гладкоствольные орудия. При существовавших технологиях идея Бессемера по выпуску нарезных стволов выглядела просто нереальной.

Бессемер занялся разработкой новой технологии выплавки стали, которая исключила бы дорогостоящую стадию производства ковкого железа. Для удаления избыточного углерода он пропускал через расплавленную массу воздушную струю. При этом металл не только не охлаждался, но в результате сжигания углерода расплав разогревался. Прекращая в нужный момент подачу воздуха, Бессемеру удалось получить сталь нужного качества. Сообщение об изобретенном им *конвертере* Бессемер опубликовал в 1856 году. Однако выплавить сталь таким методом можно было лишь из руды, не содержащей фосфор.

В 1875 году другой английский металлург С. Томас обнаружил, что если изнутри печь выложить известняком с окисью магния, то можно добиться практически полного удаления фосфора из металлического расплава. После этого для производства качественной стали годилась практически любая руда.

Так век стали полностью вступил в свои права. Это не просто дежурная фраза. Значение стали трудно переоценить, ведь сталь — это небоскребы и мосты, мощные боевые корабли и артиллерия, рельсы и бегущие по ним поезда. И, несмотря на постоянно растущее использование других металлов, сталь до сих пор незаменима в большинстве отраслей промышленности — от автомобильных кузовов до столовых ножей.

Разумеется, ошибочно считать, будто успех в каком-то одном направлении переворачивает всю жизнь человечества. Такие изменения всегда являются результатом целого комплекса взаимосвязанных достижений. Например, никакая сталь не смогла бы вызвать к жизни появление небоскребов, если бы не был изобретен давно привычный нам лифт. В 1861 году американский инженер И. Отис запатентовал гидравлический подъемник, а в 1889 году созданная им компания установила первый электрический лифт в одном из коммерческих зданий Нью-Йорка.

После того как сталь стала общедоступным материалом, начались опыты по созданию сплавов стали с другими металлами для получения более высоких свойств. Первым эти работы начал английский инженер-металлург Р. Хэдфилд, который в 1882 году установил, что добавление к стали 13 процентов марганца превращает ее в высокопрочный сплав, который пригоден для использования в механизмах, выполняющих самые тяжелые операции, например в горнодобывающем оборудовании. А в 1900 году был получен стальной сплав, содержащий вольфрам и хром и сохраняющий высокую твердость при высоких температурах вплоть до каления. Он совершил подлинную революцию в технологии высокоскоростной обработки материалов. В наши дни существуют

многие сотни марок стальных сплавов, созданных для конкретных целей и включающих в состав такие металлы, как молибден, никель, кобальт и ванадий.

Одной из основных проблем стальных изделий является их подверженность коррозии — этот процесс постепенно возвращает сталь в «первобытное» состояние — исходную железную руду. Один из способов заключается в защитном покрытии металлической поверхности краской или слоем другого металла, более устойчивого к коррозии, таким, как никель, хром, кадмий или олово. Более эффективным методом является создание нержавеющей стали. На такой сплав случайно наткнулся в 1913 году английский изобретатель Г. Брерли. Работая над стальными сплавами для оружейных стволов, среди прочих образцов он забраковал и никель-хромовый сплав, но несколько месяцев спустя с удивлением заметил, что этот образец сверкал как новый. Этот день стал «днем рождения» нержавеющей стали. Слишком мягкий и дорогой материал, чтобы использовать его в крупных конструкциях, он пригоден для изготовления ножей, вилок и ложек и других изделий, где коррозионная стойкость намного важнее твердости.

Расходы на защиту от коррозии стальных конструкций и техники исчисляются не одним миллиардом долларов, поэтому исследования и поиски средств борьбы с этим бедствием по-прежнему не ослабевают. Одно из интересных открытий в этой области касается *пертехнетатов*, содержащих технеций и эффективно защищающих сталь от ржавчины. Вряд ли можно рассчитывать на широкое использование искусственного элемента для борьбы с коррозией, но его можно использовать как исследовательский инструмент. Возможно, благодаря его радиоактивности химики смогут понять механизмы защиты поверхности стали.

Одно из самых замечательных свойств железа — *ферромагнетизм*. Железо является «мягким магнитом». Оно легко намагничивается в магнитных или электрических полях, то есть его магнитные домены легко выстраиваются вдоль силовых линий (см. главу 4). После выключения поля железо быстро размагничивается, а домены возвращаются в прежнее положение. Такое быстрое утрата магнитных свойств очень важно для электромагнитных устройств, в которых железный сердечник должен быстро реагировать на включение магнитного поля и так же быстро возвращаться в прежнее состояние после его исчезновения.

После Второй мировой войны была разработана целая группа мягких магнитов. Среди них *ферриты* (например, феррит никеля, NiFe_2O_4 , и феррит марганца, MnFe_2O_4), которые широко применяются в компьютерах в качестве элементов, способных мгновенно намагничиваться и размагничиваться.

«Жесткие магниты», состоящие из доменов, которые с трудом поддаются ориентации в магнитном поле и, напротив, неохотно возвращаются в прежнее положение после его выключения, со-

храняют свою намагниченность в течение долгого времени. К ним относятся и стальные сплавы, но некоторые представители их материалов содержат мало железа или совсем его не имеют. Лучшим примером является сплав алнико, изготовленный в 1931 году и состоящий из алюминия, никеля и кобальта с небольшой примесью меди.

В 1950-х годах в качестве магнитов было предложено использовать порошкообразное железо, измельченное на отдельные домены. Эти частицы заливают расплавленным пластиком, после чего тот застывает. Таким «пластиковым магнитам» легко придать необходимую форму, при этом они полностью сохраняют свои магнитные свойства.

За время жизни всего одного-двух поколений в практику вошло много полезных металлов, которые сравнительно недавно были неизвестны широкому кругу людей. Типичным примером является алюминий. Следует заметить, что это самый распространенный из всех металлов — его содержание в земной коре на 60 процентов выше, чем у железа. Но извлечь алюминий из руд необычайно трудно. В 1825 году датский ученый Г. Эрстед (открывший в свое время связь между электричеством и магнетизмом) сумел выделить небольшое количество металлического алюминия, но с примесями. После него многие химики безуспешно пытались очистить алюминий, но лишь француз А. Девиль в 1854 году нашел способ выделить чистый металл в достаточном количестве. Алюминий имеет столь высокую химическую активность, что пришлось использовать металлический натрий (еще более активный элемент), чтобы «спасти» алюминий от вступления в реакцию с другими атомами. Вначале алюминий продавался по цене больше 200 долларов за килограмм, что ставило его в один ряд с драгоценными металлами! В то время только император Наполеон III мог позволить себе столовые приборы из алюминия и даже заказал погремушку из нового металла для своего юного наследника. А в США — в знак огромного уважения к основателю американского государства Джорджу Вашингтону — защитили его монумент сверху алюминиевым листом.

В 1886 году Ч. Холл, молодой студент-химик, оказался под столь сильным впечатлением от слов преподавателя, что того, кто сумеет открыть дешевый способ получения алюминия, ждет быстрый успех и процветание, что тут же взялся за решение этой задачи. Холл решил воспользоваться методикой Х. Дэви, который осаждал металлы на катоде, пропуская электрический ток через расплавы их солей или окислов. Подбирая вещества для растворения алюминия, Холл остановился на криолите, минерале, залежи которого встречаются только в Гренландии. (В наше время используется синтетический криолит.) Растворив оксид алюминия

в криолите, он расплавил эту смесь и пропустил через нее электрический ток. Как он и рассчитывал, на катоде выделился металлический алюминий, и Холл поспешил к профессору с первыми слитками этого металла.

Так случилось, что молодой французский химик П. Эру, которому, как и Холлу, было 22 года, открыл этот способ в том же самом году! (Удивительным образом их судьбы повторились и дальше: оба умерли в 1914 году.)

Процесс Холла—Эру превратил алюминий в недорогой металл, хотя он был и остается дороже стали, поскольку пригодные для промышленной разработки месторождения алюминия встречаются реже, чем железные руды, а электричество, необходимое для его получения, дороже каменного угля. Но у алюминия есть два важных преимущества перед сталью. Во-первых, он очень легкий металл — в 3 раза легче стали, а во-вторых, в результате коррозии алюминий покрывается тонкой и прозрачной окисной пленкой, которая защищает более глубокие слои от дальнейшего разрушения и обеспечивает долговечность металла.

Чистый алюминий довольно мягок, но его сплавы лишены этого недостатка. В 1906 году немецкий металлург А. Вильм получил твердый сплав, добавив к алюминию немного меди и совсем мало магния. Права на патент он продал фирме «Дюренер метал вёркс» (Германия), которая присвоила новому сплаву торговую марку дюралюмин.

Инженеры быстро поняли, насколько важен этот легкий и твердый металл для зарождающейся авиации. После того как немцы использовали дюралюмин для изготовления дирижаблей во время Первой мировой войны, а британские специалисты — в результате химического анализа обломков сбитых аппаратов — выяснили состав неизвестного им сплава, дюралюмин триумфально зашагал по всему миру. Поскольку этот сплав не так коррозионно устойчив, как чистый алюминий, металлурги стали покрывать его тонким слоем металлического алюминия и присвоили новому материалу имя алклад.

В наши дни созданы алюминиевые сплавы, которые, если взять одинаковые по весу образцы, прочнее многих марок стали. Благодаря своей легкости и коррозионной устойчивости алюминий постепенно вытесняет сталь из тех областей, где эти параметры важнее, чем механическая прочность. И как все знают, алюминий используется теперь практически повсеместно: для изготовления самолетов, космических кораблей, поездов, автомобилей, окон и дверей, красок, кухонной посуды, фольги для хранения и многого другого.

А теперь обратимся к магнию, который еще легче, чем алюминий. Поэтому он используется главным образом в самолетостроении; еще в 1910 году в Германии для этой цели был изготовлен специальный магний-цинковый сплав. После Первой

мировой войны широкое применение нашли алюминиево-магние-вые сплавы.

Магний в 4 раза уступает алюминию по уровню содержания в земной коре и является намного более химически активным элементом, поэтому его труднее выделить из руд. Но к счастью, он в огромном количестве растворен в морской воде. Общая концентрация растворенных в Мировом океане солей составляет порядка 3,5 процента от его массы, из них 3,7 процента приходится на долю магния. Получается, что всего в океане растворено 2 квадриллиона (2×10^{15}) тонн магния, так что хватит на-долго.

Основная проблема состоит в том, как его оттуда извлечь. Для этого используется такой способ: сначала морская вода закачивается в большие емкости (танки), куда добавляется окись кальция (которую также получают из морей, например из раковин устриц). Окись кальция реагирует с водой и ионом магния, образуя гидроксид магния, которая нерастворима в воде и потому выпадает в осадок на дно танка. Этот осадок обрабатывают соляной кислотой, переводя его в хлорид магния. Через полученный хлорид пропускают электрический ток, собирая металлический магний на катоде.

В январе 1941 года американская компания «Доу кемикэл» получила первый слиток металлического магния, добытого из морской воды, а за последующие годы Второй мировой войны его производство выросло в десятки раз.

Следует отметить, что любой элемент, который выделяется из морской воды, в конечном счете снова возвращается в океан, и поэтому его запасы фактически неисчерпаемы. Было подсчитано, что если из морской воды ежегодно извлекать по 100 миллионов тонн магния подряд в течение миллиона лет, то его концентрация в океане уменьшится с теперешних 0,13 процента до 0,12 процента.

Если сталь называли «чудо-металлом» XIX века, то алюминий с полным правом заслужил тот же титул в начале, а магний — в середине XX века. Какой же «чудо-металл» нас ждет завтра? На самом деле такие возможности ограничены. Реально в земной коре встречается всего лишь 7 металлов. Кроме железа, алюминия и магния, это натрий, калий, кальций и титан. Первые три из них отличаются слишком высокой химической активностью (например, все они бурно реагируют с водой), поэтому трудно рассчитывать на их применение в качестве конструкционных материалов. Остается титан, который встречается примерно в 8 раз реже, чем железо.

Титан обладает удивительным сочетанием великолепных качеств. Это единственный из металлов, который, будучи в 2 раза легче стали, превосходит ее и алюминий по прочности, устойчив к коррозии и к действию высоких температур. Благодаря такому

«джентльменскому набору» титан уже сейчас используется в авиации, кораблестроении и космической технике.

Но почему человечество так медленно находит титану «новые места работы»? Как алюминий и магний, титан легко вступает в реакции с другими веществами, а в неочищенном виде — в сочетании с кислородом и азотом — у него не слишком привлекательный «характер». В частности, неочищенный титан имеет повышенную хрупкость, а в таком состоянии ему трудно найти применение. Его лучшие стороны выявляются лишь в очищенном виде (когда он получен в условиях вакуума или в атмосфере инертных газов). Усилиями металлургов цену за килограмм титана удалось снизить с 6620 долларов в 1947 году до примерно 4,4 доллара в 1969 году.

Однако представляется, что дело не в появлении каких-то «новых» металлов. Уже известные металлы (а также и некоторые неметаллы) вполне могут приоткрыть свои ранее неизвестные качества и продемонстрировать очередное «чудо».

В стихотворении О. Холмса «Шедевр дьякона» рассказывает о том, как он сделал идеально надежную конную коляску без единого изъяна. Но эта повозка все-таки развалилась, успев прослужить людям добрую сотню лет.

Атомно-кристаллическую структуру твердых элементов — металлов и неметаллов — можно сравнить с таким экипажем. В кристалле практически любого металла имеются крошечные трещины и царапины. Под действием давления эти дефекты постепенно разрастаются, что приводит к разрушению кристалла. Вот если бы у этих кристаллов — как у той коляски, что сделал дьякон, — действительно не было никаких дефектов, то они были бы намного прочнее.

Такие бездефектные кристаллы действительно можно получить, формируя тонкие волокна, своего рода «усики», на поверхности кристаллов. Такие «усики» из кристаллического углерода выдерживают растяжение силой до 220 тонн на один квадратный сантиметр, что в 15—70 раз превосходит прочность стали. Если этот метод получения бездефектных кристаллов удастся довести до промышленного уровня, мы получим в свои руки материалы невиданной доселе прочности. Например, уже в 1968 году советские ученые вырастили бездефектный кристалл вольфрама, который выдержал нагрузку более 250 тонн на квадратный сантиметр, в то время как у самой прочной стали этот предел составляет чуть более 30 тонн. И если такие бездефектные материалы не удастся получать в промышленных масштабах, то добавление бездефектных волокон к обычным металлам позволит существенно повысить их прочность.

Стоит остановиться еще на одном интересном методе соединения металлов, сообщение о котором появилось в конце 1968 года. До сих пор использовались преимущественно два способа.

Во-первых, сплавление двух и более металлов с получением достаточно однородной смеси; во-вторых, плотное покрытие одного металла тонким и прочным слоем другого (как правило, более дешевый металл покрывают пленкой более дорогого и качественного металла, поэтому его внешний вид и коррозионная устойчивость близки к золоту, но цена не превышает обычную медь).

Американский металлург Н. Кук попробовал нанести слой кремния на платиновую поверхность, погружая ее в жидкий фторид щелочного металла. Однако кремниевое покрытие получить не удалось. По-видимому, расплав фторида удалил с поверхности платины очень тонкий слой кислорода, поэтому атомы кремния проникли в глубь металлической пластины. В итоге образовался тонкий поверхностный слой, состоящий из кремний-платинового сплава.

Продолжив опыты, Кук обнаружил, что таким способом можно соединять многие вещества. Новый процесс, получивший название «металлизация», быстро нашел широкое применение. Например, сплав меди с добавлением 2—4 процентов бериллия приобретает необычайно высокую прочность. Того же результата удалось добиться и путем «бериллизации», но стоимость такого материала оказалась намного ниже, что важно, учитывая дороговизну самого бериллия. Обработанная методом «боридизации» сталь становится высокотвердым материалом. Не менее ценные свойства появляются при аналогичной обработке стальных материалов кремнием, кобальтом и титаном.

Другими словами, чудо-металлы можно найти если не в природе, то в лабораториях талантливых ученых.

Глава 6 **ЧАСТИЦЫ**

Атомное ядро

Как я уже отмечал в предыдущей главе, к началу XX века ученым было известно, что атом это не простая неделимая частица. Он, по крайней мере, включает в свою структуру такие элементарные частицы, как электроны, существование которых доказал Дж.Дж. Томсон. Сам Томсон считал, что электроны, наподобие изюминок, были впрессованы в положительно заряженное тело атома.

Но вскоре были обнаружены и другие частицы, входящие в состав атома. Когда Беккерель обнаружил явление радиоактивности, он выяснил, что часть радиоактивного излучения представляет собой поток электронов. Затем были идентифицированы и другие составляющие. Пьер и Мария Кюри, а затем Э. Резерфорд установили, что часть радиоактивного излучения обладала суще-

ственно меньшей проникающей способностью, чем электроны. Этот тип излучения Резерфорд назвал *альфа-лучами*, а электронному потоку присвоил имя *бета-лучей*. Поэтому излучаемые радиоактивным атомом электроны называются *бета-частицами*. Было установлено, что альфа-лучи представляют собой поток *альфа-частиц*. Как известно, альфа и бета являются первыми буквами греческого алфавита.

Примерно в то же время французский химик П. Виллар обнаружил третью составляющую радиоактивного излучения, которая получила имя *гамма-лучей*, по третьей букве греческого алфавита. Гамма-излучение по свойствам походит на рентгеновские лучи, но имеет меньшую длину волны.

Опытным путем Резерфорд установил, что в магнитном поле альфа-частицы отклоняются значительно меньше, чем бета-частицы. Более того, они отклонялись в противоположных направлениях, а это означало, что альфа-частицы, в отличие от отрицательно заряженных электронов, несут положительный заряд. По величине отклонения было вычислено, что масса альфа-частицы по меньшей мере в 2 раза превышает массу иона водорода, имеющего минимальный положительный заряд. Величина отклонения заряженной частицы в магнитном поле зависит как от ее массы, так и от заряда. И если принять, что положительный заряд альфа-частицы такой же, как у иона водорода, это значит, что ее масса вдвое превышает массу того же иона; если же предположить, что заряд альфа-частицы вдвое выше, то ее масса должна в 4 раза превышать массу иона водорода, и т. д.

Окончательный ответ на этот вопрос Резерфорд получил в 1909 году, когда поместил радиоактивные образцы в тонкостенную стеклянную трубку, которую, в свою очередь, расположил внутри толстостенной стеклянной трубки, разделив их вакуумом. Альфа-частицы проникали через тонкое стекло, но не могли преодолеть толстых стенок, от которых они «отскакивали» назад, теряя при этом энергию и способность пробиться назад через тонкое стекло, то есть оказывались в ловушке. С помощью электрического поля Резерфорд активировал альфа-частицы, заставив их светиться. В результате ему удалось зафиксировать на пленке спектр гелия, и стало очевидно, что альфа-частицы, испускаемые радиоактивными материалами, являются источником природного гелия. А если альфа-частица — это гелий, значит, ее масса в 4 раза больше массы водородного атома. Из чего следует, что она имеет двойной положительный заряд, если ион водорода принять за единицу.

Позднее Резерфорд идентифицировал еще одну положительно заряженную частицу, входящую в состав атома. На самом деле эту частицу зафиксировали, но не распознали задолго до него. Еще в 1886 году немецкий физик Гольдштейн с помощью катодной трубки с перфорированным катодом обнаружил новый вид



Отклонение частиц в магнитном поле

излучения, которое проникало через отверстия в катode в направлении, противоположном потоку самих катодных лучей. Поэтому он назвал их *канальными лучами*. В 1902 году это излучение было использовано для демонстрации эффекта Доплера—Физо (см. главу 1) применительно к световым лучам. Немецкий физик И. Штарк, расположив спектроскоп таким образом, чтобы на него попадали эти самые канальные лучи, четко зафиксировал фиолетовый сдвиг. За эти исследования он был удостоен Нобелевской премии по физике за 1919 год.

Поскольку канальные лучи распространяются навстречу отрицательно заряженному катодному излучению, Томсон определил их как положительное излучение. Выяснилось, что частицы этого излучения легко проходят через любые вещества. Это говорило о том, что они имеют намного меньшие размеры, чем обычные атомы или ионы. По величине их отклонения в магнитном поле было установлено, что самые маленькие из этих положительно заряженных частиц имеют тот же заряд и массу, что и ион водорода (этот ион несет минимально возможный положительный заряд). Учитывая сказанное, эти положительно заряженные частицы можно рассматривать в качестве антиподов электронам, поэтому Резерфорд назвал их *протонами* (что по-гречески значит «первые»).

Действительно, заряды протона и электрона равны по величине, но противоположны по знаку. При этом масса протона почти в 1836 раз превышает массу электрона. Было вполне ра-

зумно предположить, что атом состоит из протонов и электронов, взаимно уравнивающих друг друга. При этом протоны сосредоточены в центре атома, а электроны — на периферии, поэтому могут покидать атом. Протоны на такое не способны. Но возник новый вопрос: как именно устроен атом?

Резерфорд нашел начало ответа на этот вопрос. На протяжении 1906—1908 годов он продолжал проводить опыты по бомбардировке тонкой металлической фольги (золотой или платиновой) потоком альфа-частиц. Большая часть «снарядов» проходила через эти мишени без всяких отклонений, но бывали исключения. С помощью фотографических пластинок, помещенных за мишенями, Резерфорд обнаружил, что случались резкие изменения траекторий частиц, которые namного отклонялись от центра. Это можно сравнить с ситуацией, когда пули отскакивают от непробиваемого объекта.

Резерфорд пришел к выводу, что в центре атома имеется плотное и небольшое по размерам положительно заряженное ядро. При этом основная часть атомного пространства заполнена электронами, через разряженную массу которых альфа-частицы легко проникают. Но при столкновении с плотным ядром они резко меняют свое направление. Судя по редкости таких столкновений — отклонялась лишь одна из многих тысяч частиц, — атомные ядра имели чрезвычайно небольшие размеры.

Было логично предположить, что плотная сердцевина атома состоит из протонов, и Резерфорд решил, что протоны тесно спрессованы в «атомное ядро». Позднее было установлено, что диаметр ядра более чем в 100 000 раз меньше размеров самого атома.

В результате появилась базовая модель атома: крошечное положительно заряженное ядро, окруженное облаком из электронов, которые занимают почти весь атомный объем, но фактически невесомы. За свои выдающиеся открытия в области строения материи Резерфорд награжден Нобелевской премией по химии за 1908 год.

Теперь появилась возможность объяснять свойства тех или иных атомов на строгой основе, исходя из их строения. Например, у атома водорода всего один электрон, и если его удалить, то ядро-протон мгновенно стремится к соседней молекуле. Если не удастся найти электрон для стабилизации, то он при наличии достаточной энергии может проникать в другие вещества, реагируя с их атомными ядрами.

Зато гелий, имеющий в своем распоряжении два электрона, расстается с ними далеко не так легко. Как уже отмечалось в предыдущей главе, эта пара электронов образует завершенную оболочку, поэтому гелий по своим свойствам инертный газ. Если все-таки удалить эти два электрона, образуется альфа-частица — субатомная частица с двойным положительным зарядом.

Третий по счету элемент, литий, имеет уже три электрона. Потеряв один или два из них, он становится ионом. А если убрать все

три электрона, образуется голое ядро с утроенным положительным зарядом.

Таким образом, положительный заряд атомного ядра точно соответствует количеству электронов, которым атом располагает в нейтральном состоянии. И фактически атомные номера элементов определяются величиной положительного заряда их ядер, а не количеством электронов, поскольку число последних может легко меняться, приводя к образованию ионов, а для изменения количества протонов в ядре требуется много энергии.

Однако у этой схемы строения атомов имелся важный недостаток: оказалось, что число протонов в ядре не соответствовало общей массе атомного ядра, за исключением атома водорода. Так, ядро гелия, имевшее заряд $+2$, было в 4 раза тяжелее атома водорода. А с ростом атомного номера ситуация еще более запутывалась. Скажем, ядро урана, масса которого соответствовала массе 298 протонов, имело заряд всего $+92$.

Как же могло ядро, состоявшее из четырех протонов (ядро атома гелия), иметь всего лишь двойной положительный заряд? Можно было предположить, что в ядре, наряду с протонами, имеются компенсирующие их заряд частицы с пренебрежимо малой массой, например электроны. По этой схеме выходило, что ядро гелия состоит из четырех протонов и двух электронов, а в ядре атома урана 238 протонов и 146 электронов, что обеспечивает заряд ядра $+92$. В целом идея выглядела вполне разумной, тем более что радиоактивные элементы излучали бета-частицы, по сути, те же электроны.

Такая гипотеза господствовала больше десятилетия, пока не появились новые экспериментальные данные. Постепенно сомнения в справедливости протонно-электронной модели атомного ядра увеличивались. Так, если атомные ядра и в самом деле построены из протонов и электронов (массой последних при расчетах вполне можно пренебречь), то почему атомные массы так сильно отклоняются от целых значений? Например, атомная масса хлора составляет 35,5 массы атома водорода. Не может же ядро хлора состоять из 35,5 протона? Ни тогда, ни сейчас никому не могла прийти в голову идея о «половинке» протона.

История ответа на этот непростой вопрос весьма любопытна. Интересно, что первые — оставшиеся незамеченными — подсказки появились задолго до решения главной проблемы.

Изотопы

В 1816 году английский врач и химик В. Праут предложил свою модель строения атомов, согласно которой они построены из атомов водорода. По мере того как уточнялись атомные веса, теория Праута все дальше отодвигалась на задний план, поскольку оказалось, что многие элементы имеют дробные атомные веса

(фактически только у кислорода, взятого за стандарт, вес равен точно 16). Как уже упоминалось, хлор имеет вес 35,5 (35,453, если быть точным); бор — 10,811; кадмий — 112,40.

В канун XX века появилась целая серия опытных данных, которые не находили объяснения. Уже упоминавшийся Вильям Крукс (трубки Крукса) выделил из урана небольшое количество вещества, которое создавало повышенный уровень радиации и было названо уран-Х. Он даже предположил, что основная масса урана совсем не радиоактивна, а вся активность урановых образцов определяется именно этой примесью. А. Беккерель, в свою очередь, установил, что радиоактивность образца хорошо очищенного урана со временем растет, так как в нем появляется уран-Х. Другими словами, в результате собственного радиоактивного распада уран переходит в более активную форму.

Резерфорд тоже выделил из металлического тория высокорadioактивную примесь тория-Х и обнаружил, что тот со временем накапливается в образце. К тому времени уже было известно, что при распаде одного из самых известных радиоактивных элементов, радия, образуется радиоактивный газ радон. Поэтому Резерфорд и его ученик Ф. Содди пришли к выводу, что радиоактивные атомы в результате распада и выделения частиц трансформируются в атомы других радиоактивных элементов.

Химики, энергично взявшиеся за изучение таких превращений, обнаружили новые вещества: радий-А, радий-В, мезоторий-І, мезоторий-ІІ, актиний-С. Они были сгруппированы в три серии элементов, в зависимости от их происхождения. Один ряд вел начало от урана, другой — от тория, а третий — от актиния (позднее выяснилось, что сам актиний образуется в результате распада протактиния). Всего было обнаружено до 40 членов этих трех рядов, и каждый имел свои особенные радиоактивные свойства. Но у всех трех серий было одно конечное и устойчивое звено — свинец.

Теперь мы знаем, что все эти 40 веществ не могли быть новыми элементами: ведь между ураном (92) и свинцом (82) в периодической таблице могут разместиться лишь 10 элементов, и только два из этих 40 продуктов распада заняли свои клетки в этом промежутке. Остальные же по своим химическим свойствам оказались аналогами уже известных элементов. Например, еще в 1907 году американские химики Г. Маккой и В. Росс показали, что радиоторий, один из продуктов распада ториевого ряда, имел точно такие же свойства, что и сам торий. Радий-Д имел полное химическое свойство, что и свинец, и одно время был известен как радиосвинец. Обнаруженные продукты распада оказались вариантами известных элементов: радиоторий — форма тория, радиосвинец — вариант свинца и т. д.

В 1913 году Содди нашел ясное выражение этой идеи и развил ее дальше. Он показал, что, когда атом излучает альфа-час-

тицу, он превращается в элемент, стоящий в периодической таблице на два места ниже; при излучении же бета-частицы он переходит на одно место выше. По такой закономерности, радиоторий должен находиться в ячейке тория, а уран-Х и уран-У в ячейке урана. Аналогично радий-Д, радий-В, актиний-В должны размещаться в одной ячейке со свинцом (номер 82).

Для элементов, делящих одну ячейку периодической таблицы, Содди придумал название *изотопы* (от греческих слов «занимающие одно положение»). Нобелевскую премию по физике Содди получил в 1921 году.

Казалось бы, протонно-электронная модель ядра с изотопной теорией Содди прекрасно согласуется. Испускание ядром одной альфа-частицы понижает заряд ядра на две единицы — точно на столько, сколько нужно для перехода на две клетки вниз по таблице. С другой стороны, эмиссия электрона (бета-частицы) приводит к возрастанию положительного заряда ядра на единицу, что передвигает элемент на одну ячейку вверх по таблице.

А что происходит, когда торий распадается до радиотория посредством не одного, а трех последовательных распадов? Так, вначале торий испускает альфа-частицу, затем — одну бета-частицу и, наконец, вторую бета-частицу. Если исходить из протонно-электронной модели строения ядра, это означает, что ядро в сумме теряет четыре электрона (два из которых покидают ядро вместе с альфа-частицами) и четыре протона. (Реальная ситуация немного отличается от такой идеальной картины, но в данном случае это не принципиально.) Ядро тория имеет 232 протона и — пока предположительно — 142 электрона. В результате потери четырех протонов и четырех электронов, в атоме остается 228 протонов и 128 электронов. При этом атомный номер 90 сохраняется. У радиотория, таким образом, вокруг ядра вращаются те же 90 электронов. А поскольку химические свойства определяются количеством «планетарных» электронов, торий и радиоторий имеют одинаковые химические свойства, независимо от различия в их атомных весах (соответственно 232 и 228).

Изотопы элементов определяются их атомными весами, или «массовыми числами». Так, обычный торий называют торием-232, а радиоторий — торий-228. Известны такие радиоактивные изотопы свинца, как свинец-210 (радий-Д), свинец-214 (радий-В), свинец-212 (торий-В) и свинец-211 (актиний-В).

Представление об изотопах оказалось применимым и к стабильным элементам: все три цепочки радиоактивного распада заканчиваются различными изотопами одного и того же элемента — свинца. Урановый ряд замыкает свинец-206, ториевую серию — свинец-208, а актиниевую цепочку — свинец-207. Все эти изотопы стабильны, но отличаются атомными весами.

Доказательство существования в природе стабильных изотопов было получено благодаря прибору, который изобрел ассистент

Дж.Дж. Томсона Ф. Астон. Он эффективно разделил изотопы, используя различие в траекториях их ионов, пролетающих через магнитное поле. Новый метод получил название *масс-спектрография*. Уже в 1919 году с помощью одного из первых приборов Томсон показал, что неон имеет два изотопа, с массовыми числами 20 и 22. Большую часть составляет легкий изотоп, а содержание неона-22 лишь около 10 процентов. Позднее в атмосфере был обнаружен и третий изотоп, неон-21, доля которого оказалась менее 0,25 процента.

Теперь стала понятна причина дробных атомных весов элементов. Так, атомный вес неона равен 20,183, поскольку он состоит из трех различных изотопов. Любой отдельный атом имеет вес, обозначаемый целым числом, а вот среднее массовое число — собственно атомный вес — может быть дробным.

Было установлено, что у большинства стабильных элементов имеются наборы изотопов. Так, хлор (атомный вес 35,5) состоит из хлора-37 и хлора-35 в соотношении 1:4. За свои работы по исследованию изотопов и разработку масс-спектрографического метода Астон удостоен Нобелевской премии по химии за 1922 год.

В традиционной лекции по поводу вручения ему премии Астон предсказал огромные возможности энергии, скрытой внутри атомного ядра, а также появление атомных электростанций и ядерной бомбы (см. главу 9). В 1935 году канадский физик А. Демпстер, применив разработанную Астоном методику, совершил очень важный шаг в этом направлении. Он показал, что из 1000 атомов урана 993 — это атомы изотопа уран-238 и всего 7 атомов урана-235. Огромное значение этого открытия оценили очень быстро.

Таким образом, после столетия попыток экспериментально доказать справедливость гипотезы Праута эта идея получила подтверждение. Элементы оказались построены из однородных «кирпичиков» — хотя и не из водородных атомов, но все-таки из частиц с такой же массой. А причина того, что атомные веса имели нецелочисленные значения, была в том, что элементы состоят из изотопов с различным количеством таких «кирпичиков» в ядре. Фактически даже взятый за стандарт кислород с атомным весом 16,000 не был однородным элементом. На каждые 10 000 атомов обычного кислорода приходится 20 атомов кислорода-18 и четыре атома кислорода-17.

По сути дела, имеются лишь считанные элементы, состоящие из «одного изотопа». (Такое выражение не совсем верно по смыслу, поскольку называть элемент одноизотопным — все равно что говорить о женщине, родившей одного ребенка, будто она родила одного близнеца.)

К таким элементам относятся бериллий, у всех его атомов массовое число 9; фтор, состоящий целиком из фтора-19; алюминий (алюминий-27) и несколько других. В 1947 году ядро с опре-

деленной структурой было предложено называть *нуклидом*, поэтому уместно сказать, что такой элемент, как алюминий, имеет только один нуклид.

После того как Резерфорд открыл первую ядерную частицу (альфа-частицу), физики стали энергично «рыться» в атомном ядре, пытаясь превратить один элемент в другой или расколоть его, чтобы посмотреть, как оно устроено. На первых шагах они использовали только альфа-частицы. И в этом деле особенно преуспел тот же Резерфорд. В одном из самых плодотворных его экспериментов поток альфа-частиц в вакууме бомбардировал мишень, покрытую сульфидом цинка. Каждое соударение вызывало вспышку (этот эффект был впервые обнаружен Круксом в 1903 году), поэтому каждую альфа-частицу удавалось зафиксировать невооруженным глазом. Поместив перед мишенью металлический диск, экспериментаторы перекрыли поток альфа-частиц, и вспышки прекратились. Однако, когда внутрь камеры был закачан водород, вспышки на мишени снова появились, несмотря на расположенный перед ней диск. Более того, эти вспышки по виду заметно отличались от прежних: появились какие-то новые частицы, с более высокой проникающей способностью. Предположили, что это быстрые протоны, которые альфа-частицы выбивали из ядер водорода, посылая их вперед. Выбитые таким образом протоны, будучи легче самих альфа-частиц, мчались с куда большей скоростью, проникали через металлический диск и ударили в мишень.

Этот инструмент для фиксации отдельных частиц с помощью вспыхивающего от соударения экрана носит название *сцинтилляционного счетчика*. Чтобы подсчитать точное количество таких вспышек, вначале Резерфорд с сотрудниками по 10—15 минут должны были провести в полной темноте, чтобы глаза адаптировались к этим условиям, а уже затем приступали к тщательным подсчетам. Современные сцинтилляторы уже не зависят от человеческого глаза и умения быстро считать в уме. Вспышки трансформируются в электрические импульсы и подсчитываются автоматически. Конечный результат просто считывается с экрана прибора. Более точный подсчет ведется несколькими счетчиками, поскольку каждый, как правило, фиксирует лишь одну из двух или даже четырех вспышек. После Второй мировой войны в них стали использовать более чувствительные органические соединения вместо сульфида цинка.

Опыты Резерфорда дали много неожиданных результатов. Когда водород заменили азотом, сульфидно-цинковый экран продолжал вспыхивать практически с той же интенсивностью и частотой. Из чего Резерфорд сделал вывод, что альфа-частицы могут выбить протоны также из ядер азота.

Чтобы понять, как это происходит, Резерфорд обратился к паровой камере Вильсона. Этот прибор, изобретенный шотланд-

ским физиком Ч. Вильсоном в 1895 году, представляет собой стеклянную емкость с поршнем, заполненную насыщенным водяным паром. Когда поршень отводится назад, воздух в камере расширяется и, как следствие, охлаждается. В результате понижения температуры пар в камере перенасыщается, поэтому любая заряженная частица вызывает мгновенную конденсацию воды. По мере того как частица пролетает через камеру, она ионизирует атомы на своем пути, оставляя след из мелких капель на своем пути.

Изучение этих следов позволяет много узнать о характере частиц. Так, легкие бета-частицы оставляют после себя тонкие извилистые линии; они отклоняются даже при прохождении рядом с электронами. От намного более массивных альфа-частиц остаются толстые прямые следы, но при столкновении частиц с ядрами в следах появляются резкие изломы. В случае присоединения двух электронов альфа-частица превращается в нейтральный атом гелия и след заканчивается. Кроме величины и характера следов, имеются и другие способы идентификации частиц с помощью паровой камеры. Их поведение в магнитном поле позволяет определить знак заряда частиц, а количество изгибов на пути — их массу и энергию. В наше время физики накопили огромную библиотеку фотографий таких треков, благодаря которым легко распознают знакомые отпечатки. За изобретение своей газопаровой камеры Вильсон удостоен Нобелевской премии по физике за 1927 год.

С момента изобретения газопаровая камера много раз совершенствовалась, в результате чего превратилась в удобный и надежный инструмент. Так, первые образцы камеры Вильсона после выдвижения поршня и расширения объема требовали приведения ее в исходное состояние. Но в 1939 году американский инженер А. Лангсдорф изобрел «диффузионную паровую камеру»: в ней из теплой в холодную часть аппарата диффундировали пары спирта; в результате в холодном конце всегда сохранялись условия перенасыщения, поэтому измерения можно было проводить непрерывно.

Затем появилась пузырьковая камера (1953 г.), работающая по сходному принципу с той разницей, что вместо перенасыщенного пара там используются перегретые жидкости под давлением, а следы частиц имеют форму мельчайших пузырьков. Существует легенда, что эта идея пришла в голову американцу Д. Глезеру, когда он рассматривал пузырьки, поднимающиеся в пивном бокале. Если это действительно так, то это был самый знаменитый бокал с пивом за всю историю физики, за него Глезер получил Нобелевскую премию по физике за 1960 год.

Первая пузырьковая камера имела всего десяток сантиметров в диаметре, но в течение десятилетия появились камеры длиной 6 футов. Пузырьковые камеры, как и диффузионные паровые,

обеспечивают непрерывные измерения элементарных частиц. Кроме того, в определенном объеме жидкости, по сравнению с тем же объемом газа или пара, присутствует намного больше атомов, там выше и плотность образующихся ионов, что особенно важно для исследования быстрых и короткоживущих частиц. С помощью пузырьковых камер в первое десятилетие после изобретения делались сотни тысяч фотографий в неделю. Поэтому в 1960 году были обнаружены сверхкороткоживущие частицы, которые ранее не удавалось зафиксировать.

Наиболее пригодным для заполнения пузырьковых камер оказался жидкий водород, поскольку ядра водорода устроены очень просто (состоят из одного протона); это облегчает расшифровку следов.

Хотя пузырьковая камера и более чувствительна к короткоживущим частицам по сравнению с паровой камерой, у нее тоже есть свои ограничения. В отличие от камеры Вильсона пузырьковую камеру невозможно настроить на определенное событие. Этот прибор записывает все подряд, поэтому приходится разбираться в огромном количестве следов, независимо от степени их важности. Поэтому продолжились поиски новых типов детекторов элементарных частиц, сочетающих в себе избирательность паровой камеры и чувствительность пузырьковой.

Эти поиски привели к созданию искровой камеры, в которой входящие частицы ионизируют газ (например, неон), вызывая электрический ток, который многократно усиливается, проходя через ряд металлических пластин под напряжением. В результате появляются видимые светящиеся линии электрических разрядов, обозначающие траекторию частиц. Первая такая камера была изготовлена в 1959 году японскими физиками Фукуи и Миямото. В 1963 году советские инженеры усовершенствовали ее конструкцию, повысив чувствительность и расширив область применения. В этом аппарате короткие вспышки света запоминаются, образуя непрерывные светящиеся линии. В результате они одновременно фиксируют события, происходящие внутри камеры, и следят за частицами, проносящимися во всех направлениях, чего обычные искровые камеры делать не могут.

Но давайте оставим на время технические особенности современных приборов для изучения элементарных частиц и снова обратимся к работам Резерфорда, сделанным в начале XX века. Резерфорд бомбардировал ядра азота потоком альфа-частиц, фиксируя процесс с помощью камеры Вильсона. В некоторых случаях след альфа-частицы раздваивался и обрывался. Казалось бы, все ясно: речь идет о столкновении альфа-частицы с ядром атома азота. Одна из сторон этой «вилки» имела большую длину и относилась к траектории выбитого из ядра протона. А другая сторона была намного короче и связана с перемещением остатков ядра азота. Но никаких следов самой альфа-частицы обнаружить

не удавалось, словно ее поглотило ядро азота. Это и было подтверждено английским физиком П. Блэккетом, сделавшим более 20 000 фотографий этого процесса, среди которых удалось обнаружить лишь восемь таких элементарных столкновений (яркий пример выдающейся терпеливости, веры и целеустремленности). За эту и другие работы в области ядерной физики Блэккетт удостоен Нобелевской премии за 1948 год.

Теперь поведение ядра азота стало понятным для ученых. Когда ядро поглощает альфа-частицу, его массовое число возрастает с 14 до 18, а положительный заряд — с 7 до 9. Но, поскольку тут же происходит потеря протона, массовое число снижается до 17, а заряд — до 8. Таким образом, азот превращается в изотоп кислорода-17. Другими словами, Резерфорд в 1919 году удалось осуществить мечту алхимиков — превращение элементов, однако такой способ никому из них и не снился.

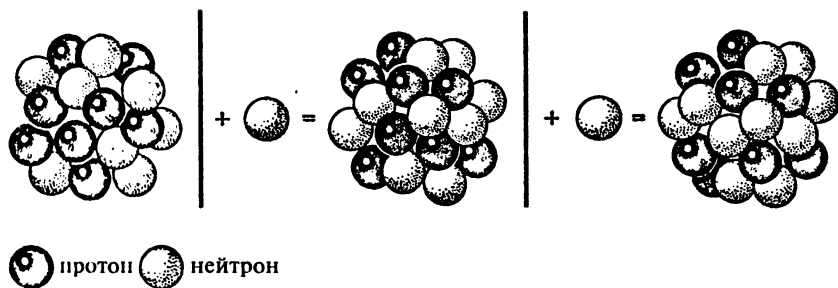
У альфа-частицы, как у исследовательского «снаряда», были ограниченные возможности. У нее не хватает энергии пробиться к ядрам более тяжелых элементов, чьи высокие положительные заряды легко отталкивают ее от себя. Но эту ядерную защиту удалось преодолеть с помощью других, более мощных средств.

Новые частицы

Проблема атаки атомного ядра заставляет снова вернуться к вопросу о его строении. В 1930 году два немецких физика, Боте и Беккер сообщили, что им удалось зафиксировать новый странный вид ядерного излучения, которое обладало невероятной проникающей способностью. Возникло оно в результате бомбардировки атомов бериллия альфа-частицами. За год до того Боте разработал методику применения двух и более детекторов одновременно, так называемый «счетчик совпадений». Такой измеритель пригоден для фиксации различных ядерных процессов, протекающих даже со скоростью миллион событий в секунду. За это изобретение Боте разделил Нобелевскую премию за 1954 год с несколькими другими физиками.

Через два года за этой публикацией последовало новое открытие, сделанное Фредериком и Ирен Жолио-Кюри (Ирен — дочь Пьера и Марии Кюри, а Жолио был ее мужем). Супруги использовали новое излучение для бомбардировки парафина, воскообразного вещества, состоящего из водорода и углерода. Оказалось, что при этом из парафина вылетают протоны.

Английский физик Д. Чедвик тут же выдвинул идею, что новое излучение состоит из неизвестных частиц. Чтобы определить их размер, он обстреливал ими мишень из бора и по приращению массы ядер рассчитал, что частицы имеют массу, близкую к массе протона. Кроме того, выяснилось, что они не оставляют



Последовательное превращение кислорода-16 в кислород-17 и кислород-18. В ядре каждого из этих изотопов находится по 8 протонов, а количество нейтронов 8, 9 и 10 соответственно

следов в камере Вильсона. Чедвик решил, что это вызвано тем, что частицы не имеют заряда (нейтральные частицы не вызывают ионизацию и соответственно не приводят к конденсации перенасыщенного пара).

Из всего этого Чедвик заключил, что речь идет об абсолютно новом типе элементарных частиц: не имеющих электрического заряда и масса которых близка к массе протона. Возможность существования подобных частиц уже высказывалась ранее, и даже было предложено новое название — *нейтроны*, которое использовал и Чедвик. За открытие нейтронов он получил Нобелевскую премию по физике за 1935 год.

Открытие новой частицы позволило физикам-теоретикам разрешить давние сомнения по поводу протонно-электронного строения ядра. Немецкий ученый В. Гейзенберг теоретически обосновал состав ядра из протонов и нейтронов, а не из протонов и электронов.

Помимо прочего, такая модель намного полнее отвечала устройству периодической таблицы элементов. Согласно новому представлению, ядра гелия, например, состояли из двух протонов и пары нейтронов, чем объяснялось их массовое число 4 и заряд ядра +2. Так же просто объяснялось и существование изотопов. Скажем, у изотопа хлор-35 ядро состоит из 17 протонов и 18 нейтронов, а у хлора-37 те же 17 протонов, но 20 нейтронов. При этом заряд ядра сохраняется, а меняется лишь масса. Точно так же три изотопа кислорода имеют одинаковое число протонов — 8, а различаются между собой лишь количеством нейтронов, соответственно 8, 9 и 10.

Короче говоря, каждый элемент характеризуется числом протонов, что определяет его атомный номер. Однако у всех элементов, за исключением водорода, в ядре также имеются нейтроны, и массовое число нуклида определяется суммой нейтронов и протонов. Таким образом, именно протоны и нейтроны являются первичными «кирпичиками» всей материи, и для удобства их

принято называть *нуклонами*. Другой термин, *нуклеоника* объединяет ядерную науку и технологию.

Новые представления о строении ядра привели к новой системе классификации нуклидов. Как уже отмечалось, нуклиды с одинаковым количеством протонов являются изотопами одного и того же элемента. Аналогично нуклиды с равным числом нейтронов (например, водород-2 и гелий-3, содержащие по одному нейтрону) являются *изотопами*. Нуклиды с равным числом нуклонов и, как следствие, одинаковыми массовыми числами — скажем, аргон-40 и кальций-40 — называются *изобары*.

Протонно-нейтронную модель ядра вряд ли когда-нибудь в будущем придется серьезно корректировать. Наличие в ядре электронов не получило экспериментального доказательства.

Тем не менее открытие нейтронов существенно озадачило физиков. К тому времени в их голове уже вполне улеглось представление о том, что Вселенная построена из двух фундаментальных частиц — протонов и электронов. Теперь к ним добавилась третья. А для ученого любое отклонение от простоты досадное явление.

Открытие нейтронов стало первым шагом на пути утраты обретенной было гармонии. Потеря первоначальной простоты продолжалась лавинообразно — появлялись все новые и новые частицы.

Многие годы физики занимались изучением таинственных космических лучей. Эти лучи впервые зафиксировал в 1911 году австрийский физик В. Гесс во время подъемов на воздушном шаре в верхние слои атмосферы.

Наличие этого необычного излучения было подтверждено настолько простым методом, что люди, привыкшие к сложным инструментальным ухищрениям, могут просто не поверить. Этот инструмент — электроскоп, состоящий из двух лепестков золотой фольги, закрепленных на металлическом стержне, который размещался внутри камеры с окошками. (Самый первый вариант такого прибора был создан еще в 1706 году английским физиком Ф. Хоксби.)

Если на металлический стержень подать электростатический заряд, золотые листки расходятся в стороны. В идеальном случае они должны бы оставаться в таком состоянии навсегда, но ионы, которые всегда присутствуют в атмосфере, постепенно удаляют заряд с лепестков, и рано или поздно те снова слипаются. Различные виды излучения, такие, как рентгеновские лучи или потоки заряженных частиц, приводят к образованию ионов, а те, в свою очередь, разряжают заряженный электроскоп. Даже если тот полностью экранирован, все равно наблюдается его, пусть и медленная, разрядка, что говорит о присутствии излучения с высокой проникающей способностью и не связанного с радиоактивностью. Усиление такого «пронизывающего» излучения и

зафиксировал Гесс по мере подъема в приземной атмосфере. За это открытие в 1936 году Гессу была вручена Нобелевская премия по физике.

Американский физик Р. Милликен, собравший огромное количество опытной информации по этому излучению (и назвавший его космическими лучами), пришел к выводу, что оно является видом электромагнитной радиации. Огромная проникающая способность космических лучей позволяла им проходить через несколько свинцовых пластин, из чего Милликен заключил, что они сродни уже известным гамма-лучам, только с меньшей длиной волны.

Однако коллеги Милликена, в первую очередь А. Комптон, настаивали, что космические лучи — это поток частиц. К тому времени уже был известен способ, как разрешить этот спор. Если этот поток заряженных частиц, они должны отклоняться магнитным полем Земли. Поэтому Комптон провел измерения интенсивности космических лучей на разных широтах и обнаружил, что и в самом деле эти потоки изгибаются под действием магнитного поля — наиболее слабы они на магнитном экваторе, а наиболее интенсивны — вблизи магнитных полюсов, где силовые линии «уходят» в Землю.

«Первичные» космические частицы, соприкасающиеся с атмосферой, несут огромную энергию. Большей частью это протоны, но некоторые из них это ядра более тяжелых элементов. Вообще, чем тяжелее ядра, тем меньше их доля в потоке космических частиц. Довольно давно среди них были обнаружены ядра таких сложных элементов, как железо, а в 1968 году появилось сообщение об обнаружении даже ядер урана, содержание которых составляет одну частицу на 10 миллионов. В этом потоке зафиксированы и единичные высокоэнергетические электроны.

При столкновении первичных частиц с атомами и молекулами атмосферных газов они раскалывают их ядра и образуют «вторичные» частицы. Именно это вторичное излучение (еще довольно мощное и «жесткое») достигает земной поверхности, а первичное излучение удастся зафиксировать лишь в самых верхних слоях атмосферы и, конечно, в космосе.

Именно в результате исследования космических лучей и была открыта новая частица. По сути дела, это открытие было предсказано физиками-теоретиками. Занимаясь математическими расчетами свойств элементарных частиц, П. Дирак пришел к выводу, что у каждой частицы должен быть свой антипод, или *античастица*. (Ученым вообще нравится, когда природа устроена не только просто, но и симметрично.) Таким образом, должен существовать *антиэлектрон*, тот же электрон, но с положительным зарядом, и *антипротон* — отрицательно заряженная частица, в остальном полностью эквивалентная протону.

Гипотеза Дирака, которую он сформулировал в 1930 году, вначале оставалась без особого внимания ученого мира. Однако два года спустя и в самом деле появилось сообщение о реально зафиксированном антиэлектроне. В ходе этого эксперимента американцы К. Андерсон и Р. Милликен работали над выяснением природы космических лучей: что это — волны или частицы? К тому времени большинство ученых склонялись к мнению Комптона, утверждавшего, что это поток частиц. Но Милликен упорно не соглашался с этой идеей, считая, что еще ничего не доказано. Вместе с Андерсоном они с помощью камеры Вильсона решили проверить, отклоняются ли космические лучи в сильном магнитном поле. Максимально замедлив поток лучей с помощью большой массы свинца, они обнаружили, что траектория лучей в камере искривляется. Но при этом выяснился еще один странный момент. При прохождении через свинец космические лучи выбились из него непонятные частицы. Причем траектория такой частицы напоминала след от электрона, но отклонялась в противоположном направлении! У нее была та же масса, но противоположный по знаку заряд. Это и был предсказанный Дираком антиэлектрон, который по предложению Андерсона окрестили *позитроном*. Это как раз один из примеров вторичного космического излучения, хотя в 1963 году было экспериментально установлено, что позитроны имеются и в составе первичного излучения.

Позитрон не уступает по устойчивости электрону (а почему бы и нет, если он полностью совпадает с последним, за исключением знака заряда?) и в одиночестве может существовать неопределенно долго. Но такой возможности ему судьба не предоставляет, поскольку вся Вселенная буквально набита электронами, и сразу после «появления на свет» (буквально за миллионную долю секунды) он неизбежно сближается с одним из них.

На один миг происходит электронно-позитронная ассоциация — когда обе частицы проникают друг в друга, образуя общий силовой центр. В 1945 году американский физик А. Рурк предложил назвать такую ассоциированную систему из двух частиц *позитроний*, а в 1951 году австриец Мартин Дейч сумел зафиксировать позитроний по характеристическому гамма-излучению.

Но даже в форме позитрония система устойчива не более 10-миллионной доли секунды. Два противоположных вида материи, соединившись на неуловимо краткий миг, неизбежно взаимно уничтожают друг друга, что приводит к их полному материальному исчезновению (*аннигиляции*); остается лишь энергетический след в форме гамма-излучения. Это явление подтверждает теорию А. Эйнштейна, что материя переходит в энергию и наоборот. И действительно, вскоре тот же Андерсон зафиксировал обратный процесс — внезапное исчезновение гамма-излучения и появление пары позитрон—электрон. Этот эффект получил название *обра-*

зование пары. Вместе с Гессом Андерсон был удостоен Нобелевской премии по физике за 1936 год.

Почти сразу вслед за этим супруги Жолио-Кюри, подошедшие к позитрону с другой стороны, сделали важное открытие. Бомбардируя алюминий альфа-частицами, они обнаружили, что при этом из мишени выбиваются не только протоны, но и позитроны. Со временем эта эмиссия затухала. Из этих результатов ученые сделали вывод, что в мишени образовалось новое радиоактивное вещество.

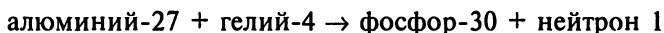
Ход их рассуждений был следующим. При поглощении альфа-частицы ядром алюминия его атомный номер возрастает с 13 до 15, превращаясь в фосфор. А поскольку альфа-частица состоит из 4 нуклонов, массовое число также увеличивается с 27 (алюминий) до 31 (фосфор). В результате испускания протона как массовое число, так и атомный номер этого ядра снижаются на единицу, приводя в конечном итоге к образованию кремния-30.

Поскольку альфа-частицы — это ядра гелия, а протоны — ядра водорода, можно составить такое уравнение ядерной реакции:



Заметьте, что сумма массовых чисел сохраняется: 27 плюс 4 равняется 30 плюс 1. Точно так же обстоит дело и с атомными номерами: 13 (Al) плюс 2 (He) дает в итоге 15, из которых 14 приходится на долю кремния и 1 — на долю водорода. Такое уравнение, как массовых чисел, так и атомных номеров, является базовым законом всех ядерных реакций.

Супруги Жолио-Кюри предположили, что в ходе ядерных реакций образуются как нейтроны, так и протоны. Так, если фосфор-31 вместо протона испустит нейтрон, его атомный номер не изменится, а массовое число снизится на единицу. В этом случае элемент останется фосфором, но превратится в другой изотоп, фосфор-30. Уравнение реакции выглядит следующим образом:



Поскольку атомный номер фосфора 15, а нейтрона 0, и в этом варианте суммарный атомный номер в результате реакции сохраняется.

При бомбардировке алюминия альфа-частицами происходят оба процесса: альфа-поглощение с последующим испусканием протона и альфа-поглощение с эмиссией нейтрона, но конечные результаты существенно разнятся. Кремний-30 является хорошо известным изотопом, составляя немногим более 3 процентов из всего природного кремния. А вот фосфор-30 в природе не существует. Единственный известный изотоп фосфора, найденный на Земле, — это фосфор-31. Короче говоря, нестабильный фосфор-30 — это радиоактивный изотоп с малым временем жизни, и это самый первый искусственный изотоп, сделанный человеческими

руками. За это достижение супругам Жолио-Кюри присвоена Нобелевская премия по физике за 1933 год.

Полученный искусственным путем фосфор-30 быстро распадается с испусканием позитрона. Поскольку у позитрона, как и у электрона, масса практически отсутствует, эта эмиссия почти не сказывается на изменении массового числа ядра. Однако потеря единичного положительного заряда понижает атомный номер на единицу, и фосфор-30 переходит в кремний-30.

Но откуда появляется этот самый позитрон? Может, он входит в состав ядра? Отнюдь нет. В действительности ядерный протон превращается в нейтрон, утрачивая свой положительный заряд, который переходит на вылетающий из ядра позитрон.

Вот теперь мы, наконец, подошли к ответу на вопрос о происхождении таинственных бета-частиц. Источником их появления служит процесс обратный превращению протона в нейтрон, а именно: превращение нейтрона в протон. Из логических соображений такой процесс по аналогии сопряжен с испусканием электрона (той самой бета-частицы). Ведь утрата отрицательного заряда эквивалентна приобретению положительного. Но где в абсолютно незаряженном нейтроне можно отыскать отрицательный заряд и выпустить его на свободу?

На самом деле, если бы все ограничивалось только испусканием отрицательно заряженной частицы, это было бы просто невозможно. Многовековой опыт приучил физиков к мысли, что ни отрицательный, ни положительный заряд не могут возникнуть из ничего. Точно так же, как ни один из этих зарядов не может исчезнуть безо всякого следа. Таков закон сохранения электрического заряда.

В действительности нейтрон не просто выпускает на свободу бета-частицу; одновременно он образует и протон, который полностью уравнивает отрицательный заряд последней и поддерживает суммарную нейтральность. Таким образом, в сумме никакого дополнительного заряда не образуется. Аналогично, когда электрон встречается с позитроном и аннигилирует, суммарное изменение заряда также равно нулю.

Когда протон излучает позитрон, превращаясь в нейтрон, исходная частица (протон) имеет единичный положительный заряд, а две итоговые частицы (нейтрон и позитрон) в сумме также имеют заряд $+1$.

Ядро способно также поглотить электрон, тогда протон внутри ядра превращается в нейтрон. Электрон с протоном (их суммарный заряд равен нулю) образуют не имеющий заряда нейтрон. Обычно ядро захватывает электрон с ближайшей к нему К-оболочки, поэтому такой процесс носит название К-захват. Тут же вакантное место занимает электрон с более удаленной L-оболочки, что сопровождается выделением энергии в виде рентгеновского излучения. Первым этот эффект описал в 1938 году американ-

ский физик Л. Альварес. Как правило, химические превращения, которые связаны с перемещением электронов, на ядерные реакции не влияют. Но поскольку в К-захвате участвуют не только ядра, но и электроны, этот процесс в некоторой степени связан с химическими изменениями.

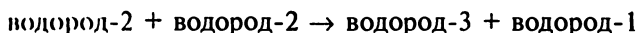
Все описанные превращения частиц должны полностью подчиняться не только закону сохранения электрического заряда, но и другим законам сохранения. Периодически встречающиеся сообщения о якобы найденных отклонениях от этих законов вызывают у физиков вполне обоснованные сомнения. Как правило, речь в таких случаях идет о недостаточной точности экспериментов или ошибке в расчетах. В целом такие нарушения законов сохранения изначально «запрещены» и не должны иметь места. Тем не менее время от времени физики с удивлением обнаруживают себя в ситуации, когда, казалось бы, универсальная неизбежность законов сохранения оказывается под вопросом. Ниже мы рассмотрим некоторые случаи.

Как только супруги Жолио-Кюри сообщили о синтезе первого радиоактивного изотопа, физики энергично принялись пополнять эту научную коллекцию. Сейчас известны наборы радиоактивных изотопов для любого элемента периодической таблицы. Каждая ячейка в современной периодической таблице, по сути, заполнена целым семейством стабильных и нестабильных изотопов, одни из которых встречаются в природе, а другие — только в лаборатории.

Скажем, у простейшего водорода есть три изотопа. Первый из них это обычный водород с единственным протоном. В 1932 году химик Г. Ури сумел выделить еще один изотоп путем медленного выпаривания огромного количества воды. В результате спектроскопического анализа последних капель оставшейся на дне воды он обнаружил новую слабую линию в спектре, точно соответствовавшую теоретически предсказанному тяжелому водороду.

Ядро тяжелого водорода состоит из одного протона и одного нейтрона, а массовое число соответственно равно двум, то есть выделенный изотоп водород-2. Автор открытия назвал его дейтерием (от греческого слова «второй»), а само ядро получило имя *дейтрон*. Вода, содержащая дейтерий, называется «тяжелой водой». Поскольку масса дейтерия в два раза превышает массу обычного водорода, тяжелая вода кипит и замерзает при более высокой температуре, чем обычная вода. Если обычная вода кипит при 100 °С, а замерзает при 0 °С, то для тяжелой воды те же параметры составляют 101,4 °С и 3,79 °С соответственно. Чистый дейтерий кипит при 23,7 °К, что выше 20,4 °К для обычного водорода. В природе дейтерий встречается в соотношении $1/6000$ к стандартному водороду. За открытие дейтерия Ури получил Нобелевскую премию по химии за 1934 год.

Дейтерий оказался очень полезным для бомбардировки ядер. А в 1934 году австрийский химик П. Хартек обработал дейтерий его же ядрами, дейтронами, в результате чего получил третью форму водорода, состоящую из протона и двух нейтронов:



Новый сверхтяжелый водород называли тритием (по-гречески «третий»). Чистый тритий кипит при 25,0 °С, а плавится при 20,5 °С. Оксид трития (сверхтяжелая вода) замерзает при 4,5 °С. Tritий — радиоактивный изотоп и довольно быстро распадается. В природе он образуется как продукт облучения атмосферного водорода космическими лучами. В результате распада тритий испускает электрон, превращаясь в гелий-3, стабильный, но весьма редкий изотоп гелия.

У гелия-3 имеются очень интересные отличия от обычного гелия 4. Например, в жидком состоянии он не обладает сверхпроводимостью и сверхтекучестью, о чем мы говорили в предыдущей главе. В атмосферном гелии содержание гелия-3 составляет какие-то 0,00013 процента, поскольку его единственным источником является еще более редкий тритий. (Из-за своей радиоактивности тритий встречается чрезвычайно редко. Подсчитано, что во всей земной атмосфере и морской воде имеется лишь 1,5 фунта трития.) Содержание гелия-3 в природном газе еще ниже, поскольку вероятность проникновения под землю космических лучей и встречи с тритием практически равна нулю.



Ядра обычного водорода, дейтерия и трития

Но «семейство» гелия не исчерпывается двумя упомянутыми изотопами.

Физики сумели получить еще два радиоактивных изотопа: гелий-5, имеющий одно из самых неустойчивых ядер, и гелий-6, также очень нестабильный изотоп.

С тех пор синтез новых изотопов продолжается непрерывно. Уже к концу 1960-х годов список известных изотопов включал около 1400 членов, из которых более 1100 радиоактивны, причем большинство получены с помощью новых видов бомбардировок.

Эксперименты, выполненные супругами Жолио-Кюри в начале 1930-х годов, казались «башней из слоновой кости», но со временем полученные ими результаты нашли широкое практическое применение.

Если атомы одного или различных видов обстреливать нейтронами, то определенная часть атомов каждого типа поглотит

нейтроны и превратятся в радиоактивные изотопы, распад которых сопровождается своим характеристическим излучением. Таким образом могут быть идентифицированы как радиоактивные, так и стабильные атомы, подвергнутые нейтронной обработке. Метод «нейтронно-активационного анализа» отличается чрезвычайно высокой точностью и невероятной чувствительностью — для проведения достоверного анализа достаточно одной триллионной грамма вещества.

Нейтронно-активационный анализ позволяет определить малейшее различие в образцах красок и подтвердить или опровергнуть принадлежность живописного полотна кисти знаменитого художника. Для такой экспертизы достаточно крошечной крупинки образца. Еще одно применение этого способа: при анализе волос Наполеона, умершего почти 200 лет назад, химики обнаружили подозрительно высокое содержание мышьяка. Историки до сих пор спорят — то ли императора отравили, то ли он принимал содержащие мышьяк лекарства.

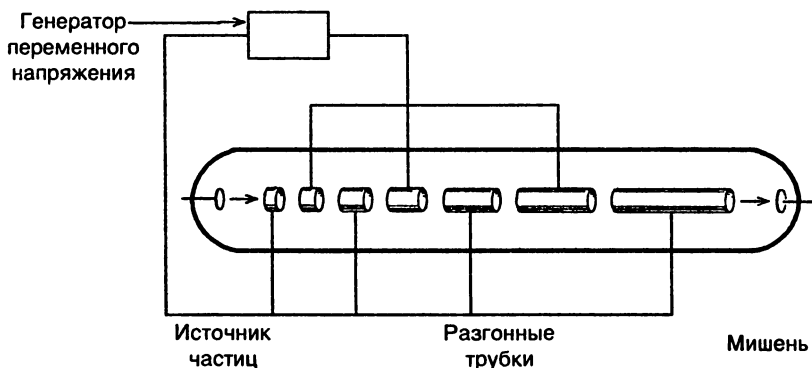
Ускорители частиц

Дирак предсказал не только антиэлектрон (позитрон), но и антипротон. Для получения антипротона нужна энергия, пропорциональная массе этой частицы. Так как протон в 1836 раз массивнее электрона, для его получения требуется, по крайней мере, во столько же раз больше энергии. Поэтому современникам Дирака ничего не оставалось, как ждать, когда будут разработаны соответствующие ускорители элементарных частиц.

Почти сразу после предсказания Дирака были сделаны первые попытки в этом направлении. В 1928 году английские физики Д. Кокрофт и Э. Уолтон сконструировали «умножитель напряжения», с помощью которого заряженный протон можно было разогнать до энергии 400 000 электрон-вольт (эВ). (1 эВ соответствует энергии электрона, находящегося в электрическом поле напряжением 1 вольт.) С помощью разработанного аппарата им удалось расколоть ядра лития, за что оба были удостоены Нобелевской премии за 1951 год.

Тем временем американец Р. Ван-де-Грааф построил другой тип ускорителя, в котором происходило отделение электронов от протонов, которые собирались в противоположных концах устройства благодаря движущейся изолирующей ленте. Благодаря такой конструкции в «электростатическом генераторе» создавалось электростатическое поле огромной мощности, достигавшее 8 миллионов вольт. В таких генераторах протоны разгонялись до 24 миллионов электрон-вольт (24 МэВ).

Электростатический генератор Ван-де-Граафа привел к настоящему прорыву в физике элементарных частиц, а сам автор изоб-

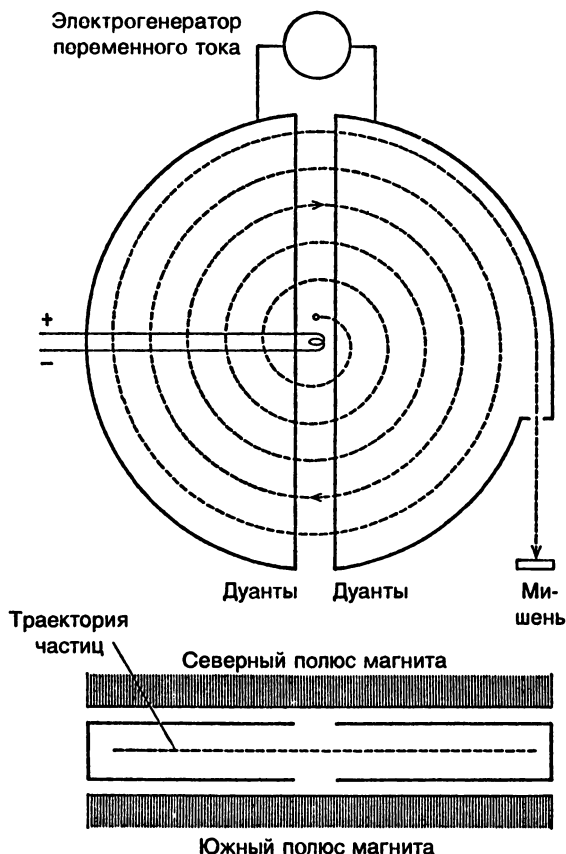


Принцип работы линейного ускорителя. Высокочастотный генератор переменного напряжения создает условия попеременного притягивания и отталкивания заряженных частиц при пролете цепи расположенных друг за другом трубок, вызывая их ускорение в выбранном направлении

речения получил прозвище «сокрушитель атомов». Обычно люди воспринимали его прибор как «генератор молний», но это было нечто большее. (Аппарат для получения искусственных молний изобрел инженер-электрик Ч. Стейнмец в 1922 году.)

Верхний уровень энергии, которую можно было получить в генераторе Ван-де-Граафа, ограничивался величиной максимально достижимого электрического потенциала. Это ограничение вскоре удалось устранить изменением конструкции аппарата. Вместо одного мощного электрического напряжения вы используете каскад небольших разрядов напряжений. И если каждый участок проходить вовремя, то скорость разгоняемых частиц постоянно растет, аналогично тому, как постепенно раскачиваются качели, если вы попадаете в такт с их колебаниями.

Но не так легко ритмично «подталкивать» частицы, и длина такого линейного ускорителя не может быть бесконечной, поэтому они не нашли особого применения в 1930-х годах. Этому способствовало открытие ². Лоуренса из Калифорнийского университета (США). Он подумал: почему бы вместо того, чтобы разгонять частицы в трубе, вытянутой в длину, не направить их движение по кругу? Для этого вполне можно использовать магнитное поле. И всякий раз после прохождения полукруга на частицы будет действовать противоположное по направлению поле, что значительно упрощает контроль над их своевременным «подталкиванием». По мере ускорения частиц их круги в магнитном поле постепенно расширяются, а время прохождения кругов сохраняется на том же уровне. В конце этой спиралевидной траектории частицы вылетают из циклотрона (который в действительности состоит из двух полукружий, называемых дуантами) и атакуют мишень.



Принцип работы циклотрона, показанного сверху и сбоку. Вылетающие из радиоактивного источника частицы, получая в каждом из дуантов попеременные мощные толчки-импульсы, с ускорением движутся по расширяющейся спирали

Первая созданная Лоуренсом модель циклотрона, около 1 фута в диаметре, обеспечивала ускорение частиц всего до 1,25 МэВ. Но уже в 1939 году в Калифорнийском университете был построен циклотрон с магнитами 5 футов в диаметре, разгоняющий частицы до 20 МэВ, что в 2 раза выше энергии самых мощных альфа-частиц, испускаемых радиоактивными источниками. В том же году Лоуренс был удостоен Нобелевской премии по физике.

Однако циклотрон в чистом виде можно использовать для ускорения частиц только до энергии 20 МэВ из-за релятивистского изменения массы с увеличением скорости, предсказанного Эйнштейном. Этот эффект приводит к тому, что частица с увеличенной массой движется не в фазе с переменным электрическим полем.

Эту проблему удалось решить в 1945 году независимо друг от друга советскому физику В. Векслеру и американцу Е. Макмиллану, которые предложили конструкцию синхроциклотрона. В синхроциклотроне частота переменного поля меняется таким образом, чтобы компенсировать релятивистское изменение массы.

Особый интерес исследователей привлекли ускорители электронов. Чтобы расщепить атомы, эти легкие частицы необходимо разогнать намного сильнее, чем протоны (точно так же, как шарик для настольного тенниса необходимо ударить намного сильнее, чем обычный теннисный мяч, чтобы добиться одинаковой силы удара). Обычный циклотрон непригоден для ускорения электронов, поскольку при тех огромных скоростях, когда электрон превращается в эффективный «снаряд», его релятивистская масса слишком велика. В 1940 году американский физик Д. Керст изобрел электронный ускоритель, в котором возрастающая масса частиц компенсировалась повышением мощности электрического поля, а электроны двигались по кругу постоянного диаметра, а не по спирали. Такое устройство, получившее название бетатрон, позволило разогнать электроны до 340 МэВ.

Теперь остановимся на устройствах другого типа, названных электронные синхротроны. Первый образец такого ускорителя создали в 1946 году английские инженеры Ф.К. Говард и Д.Е. Барнз. С их помощью электроны разгонялись по кругу до 1000 МэВ, но не могли преодолеть этот барьер, поскольку движущийся со столь высокими скоростями электронный поток излучает энергию, что сильно тормозит полет частиц. Поэтому такое излучение называется «тормозной радиацией».

На основе конструкций бетатрона и электронного синхротрона в 1947 году был изготовлен и протонный синхротрон, в котором протоны движутся по одной и той же круговой траектории. Как и в случае с электронами, это устройство позволяло справляться с возрастающей массой частиц за счет синхронного увеличения магнитного поля.

Так как более массивный протон при движении по кругу теряет энергию не столь быстро, как электрон, с его помощью физикам удалось преодолеть прежний уровень 1000 МэВ, или 1 ГэВ (буква «Г» — сокращение от слова «гига», что по-гречески значит «гигантский»). В 1952 году в США был построен протонный синхротрон мощностью около 3 ГэВ, названный космотрон, поскольку обеспечивал уровень энергий, близкий к мощности космического излучения. Два года спустя в Калифорнии был создан беватрон, разгонявший протоны до 6 ГэВ. Но в 1957 году советские ученые сообщили о строительстве «фазотрона» с энергией частиц до 10 ГэВ.

Сейчас все эти устройства кажутся просто «игрушечными» по сравнению с современными ускорителями. Недостатком первых моделей беватрона являлось постоянное столкновение разогнан-

ных частиц со стенками кольцевого канала. В новом типе установок этот недостаток устранен за счет переменных магнитных полей различной формы, помогающих удерживать частицы в узком потоке. Первым эту идею предложил Кристофилос — любитель, который победил профессионалов. В дальнейшем удалось уменьшить размеры магнита, необходимого для достижения нужного уровня энергий. Увеличение веса магнита всего в 2 раза дало рост энергии частиц в 50 раз.

В ноябре 1959 года Европейская комиссия по ядерным исследованиям (CERN) с участием 12 государств сообщила о создании сильнофокусного синхротрона импульсного типа с энергией 24 ГэВ и производительностью до 10 миллиардов протонов каждые три секунды. Этот синхротрон состоит из трех блоков, протяженность одного кругового трека составляет более 0,4 мили. За три секунды — продолжительность одного импульса — протоны успевают сделать по этому кругу более миллиона оборотов. Магнит установки весит 3500 тонн, и она стоит 30 миллионов долларов.

Но и это было далеко не последнее слово в области элементарных частиц. В США уже в 1960-х годах был разработан ускоритель с энергией выше 30 ГэВ, а в 1967 году СССР запущен в строй гигантский синхрофазотрон диаметром более мили и энергией более 70 ГэВ. А к концу XX века появились ускорители частиц с энергией выше 1000 ГэВ.

Линейные ускорители также были коренным образом усовершенствованы. В результате были устранены недостатки первых моделей этих установок. Линейные ускорители имеют ряд преимуществ перед циклотронами при достижении сверхвысоких энергий. Поскольку в данном случае электроны не теряют энергию при полете по прямой, линейные ускорители разгоняют их до более высоких скоростей, а электронный поток лучше сфокусирован и точнее попадает в мишень. В Стенфордском университете (США) сконструирован линейный ускоритель длиной 2 мили, на котором электроны разгоняются до 45 ГэВ.

Однако мощность потока частиц определяется не только размерами ускорителя. Еще большего эффекта можно достичь, если два ускорителя расположить таким образом, что потоки вылетающих оттуда частиц сталкиваются друг с другом «лоб в лоб». В результате суммарная энергия удара по мишени учтется по сравнению с единичным стационарным потоком.

Но даже с помощью одного беватрона ученые сумели получить антипротон. Первыми об этом сообщили в 1955 году американские физики из Калифорнийского университета. О. Чемберлен и Э. Сегре, зафиксировавшие антипротоны (всего около 60) по ходу многочасового обстрела медной мишени протонами с энергией 6,2 ГэВ. При этом на один антипротон пришлось до 40 000 актов образования частиц других типов. Однако тщательно продуманная методика позволила ученым разглядеть «иголку в стоге сена».

За свое открытие оба физика удостоены Нобелевской премии по физике за 1959 год.

Антипротон столь же неустойчив, как и позитрон — по крайней мере, в нашей Вселенной. Через долю секунды после создания эта частица поглощается обычным положительно заряженным ядром. Там она аннигилирует с протоном, испуская более мелкие частицы. В 1965 году за счет огромной концентрации энергии удалось провести этот процесс в обратном направлении и получить пару протон—антипротон.

Протон и антипротон уничтожают друг друга уже при достаточном сближении. При этом их заряды нейтрализуются, протон превращается в нейтрон, но антипротон становится *антинейтроном*! Что это значит? Что именно отличает антинейтрон от нейтрона?

Здесь нужно познакомиться с понятием спина. Все частицы, как правило, вращаются вокруг своей оси, подобно Земле, Солнцу, всей нашей Галактике, а возможно, и Вселенной. Понятие спина для частиц было введено в 1925 году голландскими физиками Г. Уленбеком и С. Гаудсмитом. При вращении частицы вокруг нее образуется слабое магнитное поле; эти поля сумели измерить и подробно исследовать немецкий физик О. Штерн и его американский коллега А. Раби, удостоенные за свою работу Нобелевских премий по физике соответственно в 1943-м и 1944 годах.

Спин электрона или протона был принят за $1/2$. При объединении двух частиц в пару он становится нечетным целым числом (1). Энергия частиц, чей спин в результате удвоения приобретает нечетное целочисленное значение, подчиняется правилам, которые в 1926 году разработали — независимо друг от друга — Ферми и Дирак. Эти законы называются статистика Ферми—Дирака, а частицы, которые подчиняются таким правилам, называются *фермионы*. Такими фермионами являются электрон, протон и нейтрон.

Помимо этого, существуют частицы, которые в парах приобретают четные значения спина. Их энергии подчиняются уже другим законам, которые сформулировали Эйнштейн и индийский физик С. Бозе. Частицы, которые ведут себя согласно статистике Бозе—Эйнштейна, носят имя *бозоны*. К бозонам, например, относятся альфа-частицы.

Эти два вида частиц различаются по свойствам. Например, принцип исключения Паули (см. главу 5) приложим не только к электронам, но и ко всем другим фермионам. А вот бозоны ему не подчиняются.

Легко представить, что заряженная частица создает при вращении магнитное поле, но не так легко разобраться, почему такое же поле возникает и вокруг незаряженного нейтрона. Наиболее убедительным подтверждением такого поведения является

тот факт, что при соударении с мишенью из намагниченного железа нейтроны ведут себя иначе, чем при столкновении с ненамагниченным железом. Природа нейтронного магнетизма до сих пор не раскрыта, хотя физики подозревают, что нейтрон состоит из положительного и отрицательного зарядов, взаимно нейтрализующих друг друга, но каким-то образом создающих магнитное поле при вращении нейтрона.

В любом случае наличие у нейтрона спина объясняет нам природу антинейтрона. Это тот же нейтрон, только с противоположным спином; и, скажем, его южный магнитный полюс находится не вверху, а внизу. Точно такая же картина с зеркальным расположением полюсов наблюдается и в случае пар электрон—позитрон, протон—антипротон и т. д.

Несомненно, из античастиц может образоваться *антиматерия*, аналогично просто материи, состоящей из обычных частиц. Первый образец настоящего антивещества был получен в Брукхевенской лаборатории в 1965 году. В результате бомбардировки бериллия протонами с энергией 7 ГэВ возникла комбинация из антипротонов и антинейтронов, близкая по составу к *антидейтрону*. Позднее появились сообщения о получении антигелия-3 — антиматерия может существовать!

Но насколько реально встретить ее в пределах нашей Вселенной? Гравитационные и оптические свойства ее частиц на расстоянии точно такие же, как и у обычного вещества. Но при встрече с обычной материей антивещество мгновенно аннигилирует, то есть о существовании антиматерии можно узнать только после ее исчезновения. Поэтому астрофизики напряженно пытаются отыскать в далеких галактиках признаки огромных аннигиляционных процессов. Может быть, к таким фактам можно отнести взрывы галактик или яркую струю, идущую из самого центра шарообразного звездного скопления Мессьер-87. Не меньше поводов для размышлений дают квазары, извергающие огромные порции энергии.

При этом возникает ряд еще более значительных вопросов. С какой стати во Вселенной, почти целиком состоящей из материи, время от времени попадают сгустки антиматерии? Вещество и антивещество эквивалентны во всех отношениях, кроме противоположного направления электромагнитных полей частиц, из которых они состоят. Поэтому любая сила, способная создать материю, создала бы и антиматерию, а Вселенная должна состоять из примерно равного количества материи и антиматерии. В то же время их совместное существование невозможно из-за аннигиляции, но что, если существует какой-то процесс их разделения сразу после образования?

В этой связи надо упомянуть о гипотезе, выдвинутой шведским физиком О. Клейном. Представьте себе Вселенную в виде очень разреженной массы частиц, «размазанных» по сфере диаметром триллион световых лет. Среди этой массы половину со-

ставляют обычные частицы, а другую — античастицы, но в этих условиях они свободно передвигаются в пространстве практически без особой опасности встретить своих антиподов и аннигилировать.

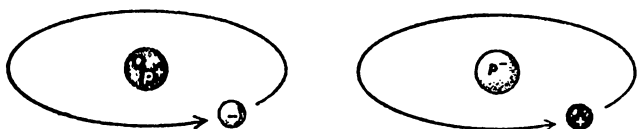
При наличии магнитных полей в некоторых участках Вселенной частицы будут отклоняться в одном направлении, а античастицы — в другом. В результате произойдет их разделение с образованием галактик и антигалактик. При столкновении существенных по величине масс материи и антиматерии в процессе образования галактик либо после происходит выделение огромного количества энергии в виде мощного импульсного излучения, под действием которого галактики и антигалактики разбрасываются во Вселенной.

По окончании такого аннигиляционного взрыва вступает в действие взаимное гравитационное притяжение космических объектов и формируется «сжатая Вселенная». Чем больше Вселенная уплотняется, тем выше вероятность очередной встречи галактик с антигалактиками и новых высокоэнергетических радиационных импульсов. Наконец, когда Вселенная сужается до диаметра в миллиард световых лет, мощность этого аннигиляционного взрыва оказывается достаточной, чтобы снова разметать галактики и антигалактики по Вселенной и тем самым удалить их друг от друга. Согласно гипотезе Клейна, современное человечество живет в один из таких периодов расширения Вселенной, а то, что мы называем «большим взрывом», обозначает тот критический момент, когда в результате взаимодействия Вселенной с антивселенной выделяется энергия, достаточная для «саморасширения».

Если это так, то половина наблюдаемых нами галактик на самом деле являются антигалактиками. Но какие именно? И как это определить? Пока окончательного ответа на этот вопрос не найдено.

Если взглянуть на проблему антивещества с более близкого расстояния, мы снова возвращаемся к космическому излучению. Энергия большинства космических частиц лежит в пределах от 1 до 10 ГэВ. Возможно, этот интервал задается взаимодействием «материя—антиматерия», однако некоторые космические частицы имеют существенно более высокие энергии: 20 ГэВ, 30 ГэВ, 40 ГэВ. Сообщалось даже о частицах с энергией 20 миллиардов ГэВ! Такую энергию трудно себе представить; но абстрактный расчет показывает, что 10 триллионов ГэВ увеличат вес субмикроскопической частицы до одной тонны, а диаметр — до 2 дюймов.

С момента обнаружения космических лучей людей волновал вопрос, откуда они появляются и какова природа их происхож-



Обычный атом водорода и атом его зеркального двойника из антимира, состоящий из антипротона и позитрона

дения. Простейший вариант ответа: где-то в нашей Галактике (возможно, на Солнце) идут ядерные реакции, в ходе которых выделяются частицы с огромными энергиями. Действительно, усиление интенсивности космического излучения, отмечаемое через год, соответствует вспышкам на Солнце (впервые зарегистрировано в 1942 году). Может быть, источники космических лучей — сверхновые звезды, пульсары и квазары? Но до сих пор неизвестны ядерные реакции с энергиями в миллиарды и триллионы ГэВ. Теоретически самым мощным процессом является аннигиляция тяжелых ядер вещества и антивещества, когда может выделиться не более 250 ГэВ.

Можно принять гипотезу Ферми, что космические частицы ускоряются под действием неизвестных космических сил. Источником умеренно быстрых частиц может быть взрыв сверхновой звезды, но во время полета во Вселенной частицы разгоняются до гигантских скоростей. В настоящее время наиболее популярна идея, что они ускоряются под действием магнитных полей, словно в гигантском природном синхротроне. Магнитные поля в космосе действительно существуют, в частности, одно из них действует на нашу Галактику, однако его напряженность в 20 000 раз ниже магнитного поля Земли.

Поэтому в таких полях космические частицы ускоряются крайне медленно по изогнутой траектории. По мере увеличения их энергии отклонение увеличивается, пока самые мощные частицы не вылетают за пределы Галактики. Хотя большая часть космических частиц не достигает такой траектории, поскольку теряет энергию за счет столкновений с другими частицами или космическими объектами, но какой-то доле это удастся. Таким образом, самые мощные частицы, которые удастся зафиксировать на Земле, скорее всего, прилетели из соседних галактик.

Неизвестные частицы

Открытие античастиц не сильно «расстроило» ученых-физиков; наоборот, это стало дополнительным доказательством симметрии мироздания. Что их действительно озадачило, так это целая серия открытий, показавших, что семейство элементарных частиц не исчерпывается протоном, электроном и нейтроном.

Первая из этих загадок возникла еще до открытия нейтрона. Она касалась излучения радиоактивными ядрами бета-частиц. Как правило, испускаемая радиоактивным ядром частица несет большой энергетический заряд. Но откуда эта энергия берется? Она возникает в результате превращения небольшой доли массы ядра в энергию; иными словами, на испускание частицы ядро тратит часть своей массы. Но физиков удивило, что энергия излучаемых ядром частиц часто не покрывала эти потери. Спектр испускаемых энергий был очень широким; при этом энергетический максимум, отвечавший потере массы ядра, достигался лишь считаными частицами, остальные же «не дотягивали» до этого уровня. Такое явление было характерно отнюдь не для всех элементарных частиц. Энергия альфа-частиц, испускаемая ядром, в точности соответствовала дефициту ядерной массы. Что же в таком случае происходит с бета-частицами? И куда девается недостающая энергия?

Первой четко сформулировала этот вопрос в 1922 году Л. Мейтнер (Германия), а 8 лет спустя датский физик Н. Бор пришел к мысли о несоблюдении закона сохранения энергии, по крайней мере, для элементарных частиц. Однако в 1931 году В. Паули, в попытке отстоять этот фундаментальный принцип, предложил свое решение загадки о потерянной энергии. Его идея была чрезвычайно проста: вместе с электроном из ядра вылетает еще одна частица. Эта таинственная «незнакомка» обладает очень странными свойствами: лишенная заряда и массы, она летит со скоростью света, неся на себе определенную порцию энергии.

Физики с большим подозрением отнеслись к этой идее, пока не появились новые доказательства существования неизвестной частицы. После открытия нейтрона было установлено, что в результате бета-распада тот превращается в протон с одновременным излучением электрона, но при этом сохраняется ощутимый дефицит энергии. Э. Ферми предложил имя для новой частицы: *нейтрино*, что по-итальянски означает «нечто маленькое и нейтральное».

Именно нейтрон помог физикам окончательно разобраться с нейтрино. Как уже говорилось выше, почти любая частица имеет спин. Величина этого спина измеряется числом кратным $1/2$, со знаком $+$ или $-$. Если у протона, нейтрона и электрона спин равен точно $1/2$, то не все ясно с законом сохранения углового момента. Ведь у пары протон—электрон суммарный спин может быть равным либо 1 (если у обеих частиц спин имел одинаковый знак), либо 0 (если их спины были противоположны), но в любом случае не $1/2$. Но на выручку приходит нейтрино. Положим, исходный нейтрон имеет спин $+1/2$. Также допустим, что спин протона $+1/2$, а электрона $-1/2$, что в сумме дает 0. Теперь, если принять спин нейтрино $+1/2$, все встает на свои места:

$$+1/2 \text{ (нейтрон)} = +1/2 \text{ (протон)} - 1/2 \text{ (электрон)} + 1/2 \text{ (нейтрино)}$$

Но это равновесие можно еще больше укрепить. Из одной частицы (нейтрона) образуются две частицы (протон и электрон), а если учесть и нейтрино, то получается целых три. Представляется более разумным предположить, что нейтрон превращается в две частицы и одну античастицу, или суммарно в одну частицу. Другими словами, в действительности надо говорить не о нейтрино, а об антинейтрино.

Собственно, нейтрино образуется при превращении протона в нейтрон. Продуктами такого процесса являются нейтрон (частица), позитрон (античастица) и нейтрино (еще одна частица), что в сумме также дает одну частицу.

Наиболее интенсивные превращения протона в нейтрон протекают в ходе ядерных реакций на Солнце и других звездах. В результате звезды испускают быстрые нейтринные потоки, на которые приходится от 6 до 8 процентов их общей энергии. Однако такая оценка справедлива лишь для звезд типа нашего Солнца. В 1961 году американский физик Х. Чу выдвинул теорию, что по мере роста средней температуры звезды нейтринный поток увеличивается.

Эта идея имеет важное практическое значение. Обычные методы передачи энергии, с помощью фотонов, довольно медленные. Фотоны энергично взаимодействуют с веществом, и на пути от солнечного ядра к поверхности претерпевают многократные акты поглощения и повторного излучения. Поэтому, несмотря на то что в центре Солнца температура достигает 15 миллионов °С, на поверхности всего лишь 6000 °С. Вещество, из которого состоит наше светило, — очень хороший изолятор.

А вот нейтрино практически не взаимодействуют с веществом. Подсчитано, что среднее нейтрино может пройти через слой свинца расстояние в 100 световых лет с 50 процентами шансов не быть поглощенным. Это означает, что нейтрино, вылетающие со скоростью света из сердцевины Солнца, всего за 3 секунды беспрепятственно достигают солнечной поверхности и летят дальше. (Даже ночью, когда не видно Солнца, нейтрино пронзают насквозь Землю и наши тела.)

При достижении температуры 6 миллиардов °С, как подсчитал тот же Х. Чу, почти вся звездная энергия переходит в форму нейтринного излучения. Нейтринные потоки уносят энергию, вызывая резкое охлаждение звездного ядра, что, вероятно, приводит к катастрофическому сжатию, в результате чего образуется сверхновая звезда.

Антинейтрино образуются в результате превращения нейтрона в протон, однако этот процесс, насколько до сих пор известно, не имеет таких огромных масштабов, как излучение звездами обычных нейтрино. Основными источниками антинейтрино являются природные радиоактивные вещества и процесс деления урана (о котором поговорим подробнее в 9-й главе).

Естественно, физики не смогут успокоиться, пока тщательно не проследят судьбу нейтрино; ученые вообще не любят принимать явления или законы на веру (даже такое понятие, как душа). Но как поймать такую неуловимую вещь, как нейтрино, у которой нет ни массы, ни заряда и практически никаких признаков взаимодействия с обычной материей?

Но слабая надежда все же оставалась. Хотя вероятность столкновения нейтрино с какой-либо частицей чрезвычайно мала, но все-таки она существует. Через 100 световых лет пути ничтожно малая часть нейтрино останавливается даже слоем свинца толщиной в $\frac{1}{10}$ дюйма.

В 1953 году группа физиков во главе с К. Коуэном и Ф. Рейнсом из Лос-Аламосской научной лаборатории США задумали выполнить эксперимент на грани возможного. Аппаратуру для обнаружения нейтрино разместили рядом с большим атомным реактором, где в результате деления урана возникали мощные нейтронные потоки, которые, как рассчитывали исследователи, должны генерировать антинейтрино. Чтобы их уловить, использовались огромные емкости с водой. План состоял в том, чтобы добиться бомбардировки протонов (ядер водорода) и зафиксировать результат захвата антинейтрино протоном.

Как мы уже говорили, при распаде нейтрона образуется протон, электрон и антинейтрино. При поглощении антинейтрино протоном идет обратное превращение. Протон трансформируется в нейтрон с одновременным испусканием позитрона. Поэтому внимание исследователей было направлено на два аспекта: 1) образование протонов и 2) испускание позитронов. Нейтроны определяют с помощью растворенных в воде соединений кадмия, который хорошо поглощает нейтроны с испусканием характеристических гамма-лучей. А позитроны фиксируют по их аннигиляции с электронами, которая сопровождается другим характеристическим гамма-излучением. И если приборам удастся записать гамма-спектры именно этих двух процессов, разделенных определенным интервалом, это и будет доказательством существования антинейтрино.

Подготовка к сложному и высокоточному эксперименту заняла три года, и в 1956 году, ровно четверть века после теоретического предсказания Паули, неуловимое антинейтрино удалось, наконец, поймать. Надо заметить, что в широкой печати неграмотные журналисты называли его просто нейтрино.

Чтобы зафиксировать подлинное нейтрино, необходимо иметь богатый источник этих частиц, в качестве которого на ум сразу приходит Солнце. Какую систему следует применить для обнаружения нейтрино, учитывая, что его поведение противоположно свойствам антинейтрино? Один из вариантов (предложенный итальянским физиком Б. Понтекорво) основан на использовании хлора-37, на долю которого приходится четвертая часть всех при-

родных запасов этого элемента. Ядро этого изотопа состоит из 17 протонов и 20 нейтронов. И если один из этих нейтронов поглотит нейтрино, он превратится в протон (с испусканием электрона). В результате изотоп хлора превратится в аргон-37, с 18 протонами и 19 нейтронами.

Чтобы изготовить мишень необходимого размера и с достаточно высокой плотностью хлора-37, можно использовать жидкий хлор, но это очень коррозионное и ядовитое вещество. Кроме того, для его содержания в жидком состоянии необходимо специальное холодильное оборудование. Вместо него было предложено использовать хлорсодержащие органические соединения, например тетрахлорэтилен.

Американский физик Р. Дэвис, первым испытывавший нейтринную ловушку, установил, что в поведении нейтрино и антинейтрино действительно существует заметная разница. Поэтому такая ловушка должна фиксировать только нейтрино.

На следующем этапе физики предприняли попытку зафиксировать поток нейтрино, идущий от Солнца. Для этого огромный танк емкостью 400 000 литров, наполненный тетрахлорэтиленом, установили в глубокой шахте. Это было сделано для того, чтобы туда не проникли никакие космические частицы, за исключением нейтрино. (Смешная ситуация: чтобы лучше изучить Солнце, пришлось глубже закапываться в Землю.) Емкость с поглотителем нейтрино была оставлена под землей на несколько месяцев, чтобы накопить достаточное для анализа количество аргона-37. После этого содержимое танка в течение 22 часов прокачали через газообразный гелий, в котором удалось обнаружить микроскопическое количество аргона-37. Таким образом, в 1968 году существование солнечных нейтрино было экспериментально доказано.

Список частиц расширился; уже были известны 8 таких частиц: протон, нейтрон, электрон, нейтрино плюс соответствующие античастицы. Но для объяснения обнаруженных явлений физикам понадобились новые представители этого ряда. В первую очередь их интересовало, как частицы удерживаются внутри ядра.

Обычные притяжения — между протонами и электронами, между двумя атомами или двумя молекулами — можно было объяснить с позиции электромагнетизма как притягивание противоположных зарядов. Но это никак не объясняло устройство ядер, где единственными заряженными частицами были протоны. И протоны должны отталкиваться друг от друга, а ядра просто взрываться сразу после образования (если такое образование вообще возможно).

Неизвестная ядерная сила должна быть намного больше электромагнитной, подавляя отталкивание однозарядных частиц. Представление о величине «ядерной силы» можно составить на таком примере. Чтобы разбить такую прочную молекулу, как окись углерода, на атомы, достаточно всего 11 эВ.

В то же время для разрушения на составляющие — протон и нейтрон — наиболее простого и неустойчивого ядра дейтрона требуется не менее 2 млн эВ! Учитывая тот факт, что частицы в ядре расположены намного ближе, чем атомы в молекуле, вполне очевидно, что ядерная сила во много раз превышает электромагнитную силу.

Но какова природа этой силы? Одно из первых предположений на этот счет сделал в 1932 году немецкий физик В. Гейзенберг, предположивший, что протоны удерживаются в ядре так называемыми «силами обмена». При этом ядерные протоны и нейтроны непрерывно превращаются друг в друга, меняя свою сущность. Если сначала какая-то частица была протоном, то затем она становится нейтроном, далее опять протоном и т. д. Такой процесс обеспечивает устойчивость атомного ядра аналогично тому, как вы быстро перекидываете горячую картофелину из одной ладони в другую, не роняя ее на пол. Еще до того, как протон «сообразит», что рядом с ним такая же положительно заряженная частица, от которой надо «держаться подальше», он превращается в нейтрон, которому уже ничто не грозит, и остается на месте. Естественно, что в ядрах эти процессы протекают с непостижимой скоростью — триллионы триллионов обменных актов в секунду.

Можно также представить себе две ядерные частицы, обменивающиеся какой-то третьей частицей. Каждый раз, когда частица *A* излучает обменную частицу, она отбрасывается в противоположном направлении, поддерживая суммарный момент движения постоянным. И всякий раз, когда частица *B* поглощает такую обменную частицу, она по той же причине получает обратный толчок. По мере того как обменная частица «прыгает» взад-вперед, частицы *A* и *B* все дальше отходят друг от друга, так что создается впечатление их взаимного отталкивания. С другой стороны, если обменная частица движется по кругу наподобие бумеранга — стремясь возвратиться на прежнее место, возникает картина взаимного притяжения частиц *A* и *B*.

Согласно теории Гейзенберга, все силы притяжения и отталкивания являются результатом обменных процессов. В электромагнитных процессах такими обменными частицами служат фотоны; они, как мы увидим в следующей главе, не имеют массы, являясь переносчиками света и электромагнитного излучения. Можно показать, что, поскольку у фотонов нет массы, электромагнитные силы действуют на больших расстояниях и они уменьшаются пропорционально квадрату расстояния, что особенно важно для таких космических объектов, как галактики.

По этой же причине сила гравитации, которая также действует на больших расстояниях и уменьшается пропорционально квадрату расстояния, базируется на постоянном обмене «гравитонами» (частицами, лишенными массы).

Сила гравитации несравнимо слабее электромагнитной силы. Так, гравитационное притяжение протона и электрона составляет лишь $0,1^{19}$ от их электромагнитного притяжения. Соответственно гравитон по энергии значительно уступает фотону, и его невероятно сложно обнаружить.

И все-таки американский физик Дж. Вебер попытался зафиксировать гравитон. Для этого он подвесил на проволоке в вакуумной камере два алюминиевых цилиндра — длиной 153 сантиметра и диаметром 66 сантиметра. Предполагалось, что под действием гравитонов (которые распространяются в форме волн) цилиндры должны слегка сместиться, для чего было создано сверхточное измерительное оборудование, позволяющее зафиксировать передвижение объектов на одну миллионную долю сантиметра. Слабые гравитационные волны, идущие из глубин Вселенной и омывающие нашу планету, действуют на оба цилиндра (разведенные на большое расстояние) одновременно. В 1969 году Вебер сообщил, что ему удалось обнаружить гравитационные волны. Если это правда, то остается вопрос: какие именно причины в космосе могут вызвать флуктуации гравитационных сил, которые удалось четко зафиксировать в виде волнового излучения? С чем это связано: с нейтронными звездами, черными дырами или чем-то еще? Пока мы не знаем.

Но вернемся к ядерной силе. В отличие от электромагнитного и гравитационного полей она действует на очень коротком расстоянии. Обладая огромной мощностью в пределах ядра, она практически исчезает при выходе за его границы. По этой причине не имеющая массы обменная частица в данном случае отсутствует.

В 1935 году японский физик Х. Юкава проанализировал эту проблему математически. Обменная частица, обладающая определенной массой, формирует короткодействующее поле. При этом масса частицы обратно пропорциональна размеру поля: чем больше масса, тем на меньшем расстоянии действует поле. Оказалось, что расчетная масса подобной частицы лежит в интервале между массой протона и электрона. Сам Юкава определил массу этой обменной частицы равной 200—300 массам электрона.

И всего год спустя эти частицы были обнаружены. К. Андерсон из Калифорнийского университета (США), изучавший траектории вторичных космических лучей, наткнулся на короткий след, кривизна которого была больше, чем у протона, но меньше, чем у электрона. Другими словами, эта частица имела промежуточную массу. Вскоре появились сообщения и других ученых, обнаруживших такие же треки, а сама частица получила название *мезотрон*, или попросту *мезон*.

Постепенно список таких частиц с промежуточными массами заметно пополнился. В результате первая из них получила уточненное имя, *мю-мезон*, или *мюон*. (Мю — одна из букв греческого алфавита; в настоящее время почти все греческие буквы задей-

ствованы в названиях элементарных частиц.) Как и некоторые другие частицы, мюон встречается в двух видах: с положительным и отрицательным зарядами.

Отрицательно заряженный мюон — в 207 раз тяжелее электрона (и в 9 раз легче протона) — является частицей, а вот положительно заряженный мюон — античастицей. Эта пара схожа с электроном и позитроном. Доказано, что по всем свойствам — за исключением массы — отрицательный мюон абсолютно идентичен электрону. Это так называемый «тяжелый электрон», а положительный мюон — «тяжелый позитрон».

Пока не удалось объяснить причину такого сходства, но выяснилось, что отрицательные мюоны могут замещать в атоме электроны, образуя *мюонные атомы*. Точно так же положительные мюоны замещают позитроны в антивеществе.

Положительный и отрицательный мюоны при встрече аннигилируют, но до этого какое-то мгновение могут вращаться вокруг общего центра — аналогично поведению пары электрон—позитрон. Еще более интересное явление в 1960 году обнаружил американский физик В. Хьюз, зафиксировавший систему, где вокруг положительного мюона вращался электрон. Эту систему он назвал *мюоний*. (Соответственно пара позитрон — отрицательный мюон носит имя *антимюоний*.)

Атом мюония (если его можно так назвать) является близким аналогом водорода-1, в котором электрон вращается вокруг протона, поэтому имеет очень сходные с ним свойства. Хотя мюоны и электроны близки по всем параметрам, кроме массы, этого различия в массах оказывается достаточно, чтобы они не стали взаимными антиподами и не аннигилировали друг друга. Поэтому мюон не вносит в систему нестабильность, как это происходит с позитроном. Как система, мюоний мог бы существовать долго (при отсутствии внешних воздействий), если бы сам мюон не был столь короткоживущим. Время жизни этой обменной частицы всего две миллионные доли секунды.

Еще одно сходство мюонов с электронами состоит в следующем: аналогично тому, как при распаде тяжелых частиц образуются электроны и антинейтрино (когда нейтрон превращается в протон) или позитроны и нейтрино (когда протон превращается в нейтрон), тяжелые частицы могут взаимодействовать между собой с образованием отрицательных мюонов и антинейтрино или положительных мюонов и нейтрино. Многие годы физики считали, что нейтрино, сопровождающие образование позитронов и электронов, полностью идентичны тем нейтрино, которые испускаются при формировании положительных и отрицательных мюонов. Но в 1962 году выяснилось, что это два абсолютно разных типа нейтрино; электронные нейтрино никогда не встречаются в процессах, связанных с мюонами, а мюонные нейтрино не участвуют в процессах образования электронов и позитронов.

Короче говоря, оказалось, что «нейтринное семейство» состоит из двух пар лишенных массы и заряда частиц: электронного антинейтрино и позитронного нейтрино плюс антинейтрино отрицательного мюона и нейтрино положительного мюона.

Мюоны отличаются от электрона и позитрона низкой устойчивостью. Если электрон и позитрон могут существовать бесконечно долго, то мюоны распадаются за несколько миллионных долей секунды. При распаде отрицательного мюона образуется электрон и два антинейтрино (электронного и мюонного типа), а положительный мюон дает при распаде позитрон и два нейтрино (также электронного и мюонного типа).

Поскольку мюон представляет собой вариант тяжелого электрона, то, казалось бы, его нельзя рассматривать в качестве претендента на роль «цемента», который Юкава искал для строительства атомного ядра. Никаких электронов или мюонов внутри ядра до сих пор не было обнаружено. Кроме того, еще до установления идентичности мюонов и электронов было экспериментально показано, что мюоны не проявляют никакого стремления к взаимодействию с ядром. Таким образом, теория Юкавы стала вызывать некоторые сомнения у коллег.

Однако в 1947 году английский физик С. Пауэлл обнаружил еще один тип мезонов на фотографиях космических лучей. Они были несколько легче уже известных мюонов (их масса в 273 раза превышала массу электрона). Эти мезоны стали называть *пи-мезоны*, или просто *пионы*.

Оказалось, что пионы интенсивно взаимодействуют с ядрами и могут рассматриваться как частицы, которые предсказал Юкава (Юкава удостоен Нобелевской премии в 1949 году, а Пауэлл — в 1950 году). Положительный пион действовал как обменная частица в ходе превращения протонов в нейтроны, а отрицательный пион — антипротонов в антинейтроны. При этом среднее время жизни обоих пионов было даже короче, чем у мюонов: всего $1/40$ микросекунды, затем пионы распадаются на мюон и нейтрино (или антинейтрино, в зависимости от типа мюона). Этот мюон, разумеется, тут же распадается на электрон и еще одно нейтрино. Но существует еще одна частица — нейтральный пион, у которого имеется собственная античастица. (Пока это единственная пара частиц такого типа.) Она крайне нестабильна и распадается менее чем за 10^{-18} секунд, образуя пару гамма-лучей.

Хотя пион изо всех сил «стремится» в ядро, до взаимодействия очень короткое время он вращается вокруг ядра, образуя своего рода «пионный атом», который впервые был обнаружен в 1952 году. Фактически любая пара, состоящая из отрицательно и положительно заряженных частиц, может образовать такую «планетарную» систему, и уже в 1960-х годах физики зарегистрировали немало таких «экзотических атомов», что позволило пролить дополнительный свет на свойства и строение элементарных частиц.

С момента своего открытия пион стал приобретать в глазах физиков все большую значимость в мире субатомных частиц. Оказалось, что даже свободные протоны и нейтроны могут быть окружены настоящим «облаком» из пионов и даже состоять из них. Американский физик Р. Хофstadтер исследовал поведение ядер под действием сверхжестких электронных пучков, испускаемых линейным ускорителем. На основании проведенных опытов он заключил, что как протоны, так и нейтроны имеют ядро, состоящее из мезонов. За свои труды в области физики элементарных частиц он удостоен Нобелевской премии за 1961 год.

По мере того как ряды элементарных частиц пополнялись новыми членами, возникла необходимость их классификации. Самые легкие частицы были зачислены в группу *лептонов* (от греческого слова «мелкий»). Сюда входят электроны, мюоны, все виды нейтрино и соответствующие античастицы. В эту же группу помещен и фотон — с нулевой массой и нулевым зарядом, но со спином, равным 1. (Именно последний признак отличает фотон от всех видов нейтрино, у которых также нет массы и заряда, но спин равен $1/2$.) Античастицей фотона считается он сам. К лептонам отнесен и гравитон — также не имеющий ни заряда, ни массы, но чей спин равен 2.

Поскольку и гравитоны одновременно являются и собственными античастицами, трудно определить, из чего же состоят удаленные галактики — из материи или антиматерии. Большая часть информации от удаленных космических объектов поступает к нам в форме фотонов или гравитонов; а галактики, состоящие из антивещества, испускают абсолютно такие же фотоны и гравитоны, что и галактики, состоящие из обычной материи. Не существует ни антифотонов, ни антигравитонов, которые помогли бы четко ответить на вопрос о природе галактик. Остается только фиксировать нейтринные или антинейтринные потоки. Количественное преобладание нейтрино будет означать обычное вещество, а перевес в сторону антинейтрино — антивещество. С развитием измерительной техники и методов обнаружения нейтрино и антинейтрино, поступающих из открытого космоса, может открыться возможность доказательства существования и определения координат антигалактик.

Все известные нам лептоны, которые не имеют электрического заряда, одновременно лишены и массы. Все они чрезвычайно устойчивы. По какой-то причине заряд появляется лишь при наличии массы, в то время как частицы, обладающие массой, стремятся к распаду на более легкие частицы. Так, мюон распадается на электроны. До сих пор электрон (или позитрон) является самой легкой частицей (из тех, что имеют массу), а его распад означал бы полную потерю массы и одновременную утрату заряда. Но, согласно закону сохранения электрического заряда, электрон не может распасться. Электрон может лишь аннигилировать при

встрече с имеющим противоположный заряд позитроном, но каждая из этих частиц в отдельности не способна на распад и обречена на вечное существование.

Группе более массивных частиц присвоено имя *мезоны*, но мюоны в их число не входят, хотя вначале сами назывались мезонами. К «истинным» мезонам относятся пионы и К-мезоны, или *кайоны*. Последние обнаружили в 1952 году польские физики М. Даниш и И. Пневски. Кайоны примерно в 970 раз тяжелее электрона, наполовину легче протона и нейтрона. Встречаются кайоны двух типов — положительный и нейтральный, и у каждого из них имеется собственная античастица. Все кайоны очень неустойчивы, менее чем за микросекунду распадаясь на пионы.

За мезонами располагаются *барионы* (что по-гречески значит «тяжелые»). До 1950-х годов в эту группу входили только протон и нейтрон. Начиная с 1954 года обнаружена целая серия более массивных частиц, которые иногда называют *гиперонами* (от греческого слова «огромный»). Количество новых барионов постоянно растет, и протон с нейтроном остаются самыми легкими среди них.

Открыт закон сохранения числа барионов, который соблюдается при распаде любой частицы: суммарное число барионов (за вычетом из количества барионов всех антибарионов) остается постоянным. При распаде более массивная частица всегда превращается в более легкую. Именно этим объясняется высокая устойчивость протона, который является легчайшим среди барионов, и поэтому его распад должен непременно сопровождаться исчезновением бариона, что противоречит закону сохранения числа барионов. По той же причине устойчив и антипротон, легчайший из всех антибарионов. Разумеется, протон и антипротон могут взаимно аннигилировать, но при этом образуется один барион и один антибарион, то есть общее число барионов (0) сохраняется.

Первым барионам, обнаруженным сразу после протона и нейтрона, присваивались греческие имена. Так, были *лямбда-частица*, *сигма-частица* и *кси-частица*. Первая частица из этой троицы обнаружена только в нейтральной форме; вторая встречается в трех вариантах: положительном, отрицательном и нейтральном; и, наконец, третья — в двух, положительном и отрицательном. У каждой из них есть собственная античастица, что доводит их общее число до дюжины. Все они крайне нестабильны — время жизни любой из них не превышает сотой доли микросекунды, а нейтральная сигма-частица распадается всего за 10^{-16} секунд!

Не имеющая заряда лямбда-частица может замещать нейтрон в ядре, образуя так называемое гиперядро (гипернуклиус), живущее не более 1×10^{-9} секунд. Первым из таких ядер был открыт «гипертритий», состоящий из протона, нейтрона и лямбда-частицы. Его удалось обнаружить в 1952 году в космическом излучении. В 1962 году появилось сообщение о ядре с двумя лямбда-

частицами. Позже, в 1968 году выяснилось, что отрицательные гипероны могут замещать электроны в структуре атома. Столь массивная частица, сменившая на атомной орбите электрон, вращается вокруг ядра очень близко к его поверхности.

Это были сравнительно устойчивые частицы: время их жизни и энергетические параметры можно было зафиксировать напрямую. В 1960-х годах Альварес обнаружил первую частицу нового типа (за что был удостоен Нобелевской премии по физике за 1968 год). О существовании столь короткоживущей частицы можно заключить лишь по продуктам распада. Период их полураспада составляет порядка 10^{-30} секунд, поэтому часто трудно решить, идет ли речь об отдельной частице или же о нескольких последовательно распавшихся частицах.

Семейство сверхкороткоживущих частиц, носящих имя *резонансных*, насчитывает более 150 представителей, и физики не знают, сколько таких частиц еще предстоит открыть. С частицами сложилась примерно такая же ситуация, как с элементами в середине XIX века накануне появления периодической таблицы Менделеева.

Некоторые физики считают, что различные мезоны и барионы по своей природе не являются настоящими частицами. Они утверждают, что барионы могут поглощать и испускать мезоны, переходя на различные энергетические уровни и что каждый из таких возбужденных барионов можно ошибочно принять за отдельную частицу. (Аналогичная ситуация характерна для мира атомов, где атом может испускать или поглощать фотоны, за счет чего достигает разных уровней электронного возбуждения, но при этом даже сверхвозбужденный атом водорода остается тем же водородом по своей химической сути.)

Поэтому остается построить своего рода периодическую таблицу элементарных частиц, то есть разбить их по родственным группам, а в каждую ячейку такой таблицы поместить по одному или несколько представителей, различающихся лишь уровнем энергетического возбуждения.

Подобную систематизацию независимо друг от друга предложили в 1961 году американский физик М. Гелл-Манн и израильский физик Ю. Неэмен. Частицы были разбиты на группы в зависимости от их параметров и с соблюдением максимальной симметрии. Сам Гелл-Манн назвал этот способ принцип 8 составляемых, но чаще используется более формальное название «SU#3». В частности, оказалось, что для полного комплектования одной из групп в такой таблице не хватает одной частицы, которая должна обладать строго определенной массой и заданным набором свойств. На эту роль не подходила ни одна из известных к тому времени частиц; в 1964 году эта частица (*омега-минус*) была открыта, причем ее параметры полностью совпали с расчетными. А в 1971 году был обнаружен и ее антипод, *антиомега-минус*.

Но еще оставались неясности и противоречия, которые подтолкнули физиков на поиски простого фундаментального принципа. В 1964 году Гелл-Манн, разработавший классификацию всех барионов на основе минимального числа фундаментальных «суб-барионов», нашел понятие «кварк». Оказалось, что трех кварков достаточно, чтобы охватить параметры всех барионов. Само название «кварк» он взял из романа Дж. Джойса «Поминки по Финнегану».

Кварки должны обладать необычными свойствами. Самым главным из них стал «дробный энергетический заряд». Все известные частицы либо не имели электрического заряда, либо их заряд был кратным заряду электрона (или позитрона). Другими словами, частицы имели такие заряды: 0, +1, -1, +2, -2 и т. д. По новой системе один из кварков (р-кварк) имел заряд $+2/3$, а у двух других (п-кварка и лямбда-кварка) электрический заряд был равен $-1/3$. Н-кварк отличается от лямбда-кварка величиной так называемой «странности». В то время как п- и р-кварки имеют странность равную 0, у лямбда-кварка этот параметр составляет -1.

У каждого кварка имеется свой *антикварк*. У анти-р-кварка заряд $-2/3$, а странность 0; у анти-п-кварка заряд $+1/3$, а странность 0; и у анти-лямбда-кварка заряд $+1/3$, а странность +1.

Теперь представьте себе, что протон состоит из двух р-кварков и одного п-кварка, а нейтрон — из двух п-кварков и одного р-кварка. Лямбда-частица состоит из р-кварка, п-кварка и лямбда-кварка; частица омега-минус построена из трех лямбда-кварков и т. д. Каждый мезон представляет комбинацию из двух кварков.

Но вопрос заключается в том, что, как бы все ни выглядело гладко с точки зрения математики, насколько реально существование самих кварков? Мы знаем, что доллар равен четырем монетам по четверть доллара каждая, но это не значит, что из долларового банкнота можно вытрясти эти самые четыре монеты. Чтобы получить ответ на этот вопрос, можно было попытаться расколоть протон, нейтрон или другую частицу сверхмощным энергетическим ударом и убедиться, что из них вылетят предсказанные кварки. Но силы, связывающие кварки воедино, превосходят силы, которые связывают между собой барионы (не говоря о межатомных взаимодействиях), и человек не располагает пока необходимым инструментом для того, чтобы расколоть барион.

Поэтому на момент написания данной книги гипотезу о кварках можно воспринимать лишь как интересную, но неподтвержденную идею.

Обнаружение К-мезонов и гиперонов открыло перед физиками абсолютно новый, четвертый тип силовых полей, отличающийся от уже известных: гравитационного, электромагнитного и ядерного.

Среди этих трех самой мощной является ядерная сила, которая действует на очень коротких расстояниях. Если электромагнитная и гравитационная силы ослабевают с квадратом расстояния, то ядерная сила уменьшается столь быстро, что уже при удалении двух нуклонов на расстояние чуть больше их диаметра она падает почти до нуля. (Это то же самое, как если бы земное притяжение опускалось до нуля уже на высоте 4000 миль от поверхности.) Как следствие, все ядерные взаимодействия протекают с чрезвычайно высокой скоростью.

Например, вообразите, что пи-мезон приближается к протону. Чтобы ядерная сила привела к их взаимодействию, частицы должны сблизиться на расстояние порядка диаметра протона. Диаметр протона около 1×10^{-13} сантиметра. Мезон движется со скоростью света — порядка 30 миллиардов сантиметров в секунду. Поэтому на нужном расстоянии от протона он будет находиться всего 1×10^{-22} секунд. Но даже этого короткого интервала достаточно для вступления ядерных сил в действие, в результате чего из пары *пи*-мезон-протон образуются *лямбда*-гиперон и *K*-мезон.

Это один из примеров того, что физики называют «сильным взаимодействием». Барионы и мезоны под действием ядерных сил «слипаются» в так называемые «хадроны», от греческого слова «массивный». А вот «слабое взаимодействие» подразумевает более длительные процессы. Теория таких взаимодействий впервые была разработана Ферми в 1934 году. В качестве примера такого процесса можно взять расщепление *K*-мезона или гиперона. На это требуется порядка 10^{-13} секунд. На первый взгляд это время может показаться бесконечно малым, но по сравнению с мезон-протонным взаимодействием оно очень велико.

Установлено, что «слабые взаимодействия» определяются силами, намного более слабыми, чем ядерные, и происходят только со «странными частицами». К этой категории отнесены в первую очередь *K*-мезоны и гипероны.

Гелл-Манн присвоил каждой частице свой коэффициент «странности» (как и для кварков), причем суммарная «странность» всех частиц, вступающих во взаимодействие, остается постоянной.

Четвертый тип взаимодействия можно также интерпретировать с точки зрения обменных сил. В гравитационных, электромагнитных и сильных взаимодействиях участвуют гравитон, фотон и пион; а в случае слабых взаимодействий их роль выполняет *W*-частица. Ее также называют *промежуточным бозоном*, поскольку она должна подчиняться статистическим правилам Бозе—Эйнштейна и обладать промежуточной скоростью распада. Но реально обнаружить эту частицу пока не удалось.

В настоящее время физики-ядерщики оперируют примерно дюжиной законов сохранения. Некоторые из них известны еще с

ДОЛГОЖИВУЩИЕ СУБАТОМНЫЕ ЧАСТИЦЫ

Таблица из работы К.В. Форда «Мир элементарных частиц»

Название группы	Название частицы	Символ	Масса	Спин	Электрический заряд
	Фотон	γ Гамма-лучи	0	1	Нейтральный
	Гравитон		0	2	Нейтральный
Семейство электронов	Электронное нейтрино	ν_e	0	$1/2$	Нейтральный
	Электрон	e^-	1	$1/2$	Отрицательный
Семейство мюонов	Мюонное нейтрино	ν_μ	0 (?)	$1/2$	Нейтральный
	Мюон	μ^-	206,77	$1/2$	Отрицательный
Мезоны	Пион	π^+	273,2	0	Положительный
		π^-	273,2	0	Отрицательный
		π^0	264,2		
	Каон	K^+	966,6	0	Положительный
		K^0	974	0	Нейтральный
Барионы	Нуклеон	p (протон)	1836,12	$1/2$	Положительный
		n (нейтрон)	1838,65	$1/2$	Нейтральный
	Лямбда	Λ^0	2128,8	$1/2$	Нейтральный
		Σ^+	2327,7	$1/2$	Положительный
		Σ^-	2340,5	$1/2$	Отрицательный
		Σ^0	2332	$1/2$	Нейтральный
		Ξ^-	2580	$1/2$	Отрицательный
	XI	Ξ^0	2570	$1/2$	Нейтральный

* K^0 -мезон — единственная частица, у которой два различных периода полураспада.

Античастица	Кол-во частиц	Среднее время жизни (с)	Типичная схема распада
Та же частица	1	Неопред. долго	_____
Та же частица	1	Неопред. долго	_____
$\bar{\nu}_e$	2	Неопред. долго	_____
e^+ (позитрон)	2	Неопред. долго	_____
$\bar{\nu}_\mu$	2	Неопред. долго	_____
μ^+	2	$2,212 \times 10^{-6}$	$\mu^- \rightarrow e^- + \nu_e + \nu_\mu$
π^-	3	$2,55 \times 10^{-8}$	$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$
π^+ те же, что π^- и частицы		$2,55 \times 10^{-8}$	$\pi^- \rightarrow \mu^- + \nu_\mu$
π^0	4	$1,9 \times 10^{-16}$	$\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$
$\bar{K}^+$ (отрицат.)		$1,22 \times 10^{-8}$	$K^+ \rightarrow \pi^+ + \pi^0$
$\bar{K}^0$		$1,00 \times 10^{-10}$ и* 6×10^{-8}	$K^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-$
$\bar{p}$ (отрицат.)	4	Неопред. долго	$n \rightarrow p + e^- + \nu_e$ $\Lambda^0 \rightarrow p + \pi^-$ $\Sigma^+ \rightarrow n + \pi^+$ $\Sigma^- \rightarrow n + \pi^-$ $\Sigma^0 \rightarrow \Lambda^0 + \gamma$ $\Xi^- \rightarrow \Lambda^0 + \pi^-$ $\Xi^0 \rightarrow \Lambda^0 + \pi^0$
$\bar{n}$	2	1013	
$\bar{\Lambda}^0$		$2,51 \times 10^{-10}$	
$\bar{\Sigma}^+$ (отрицат.)	6	$8,1 \times 10^{-11}$	
$\bar{\Sigma}^-$ (положит.)		$1,6 \times 10^{-10}$	
$\bar{\Sigma}^0$		около 10^{-20}	
$\bar{\Xi}^-$ (положит.)	4	$1,3 \times 10^{-10}$	
$\bar{\Xi}^0$		около 10^{-10}	
	33		

XIX века, например закон сохранения энергии, сохранения углового момента и электрического заряда. Но существуют и не столь известные законы: сохранения странности, барионного числа, изотопного спина и т. д.

Выяснилось, что сильные взаимодействия подпадают под действие всех этих законов; еще в начале 1950-х годов физики считали, что эти законы универсальны и не подлежат сомнению. Но в случае слабых взаимодействий некоторые из законов сохранения «не работали».

В частности, стал «давать сбой» закон сохранения четности. Четность — это математический параметр, который невозможно описать конкретным языком; можно лишь сказать, что он описывается математической функцией, связанной с волновыми свойствами частицы и ее положением в пространстве. У четности два возможных значения — «чет» и «нечет». Четность является ключевым свойством и подпадает под закон сохранения при любых изменениях. Поэтому считалось, что, когда частицы вступают во взаимодействие с образованием новых частиц, суммарная четность исходных и конечных продуктов должна быть одинаковой, аналогично массовым числам, атомным номерам или угловому моменту.

Представьте такую картину. При взаимодействии двух частиц — нечетного и четного типов — образуются две новые частицы, из которых одна должна обладать четностью, а другая — нечетностью. Если же обе исходные частицы одинаково четные или нечетные, то и две новые частицы также должны быть либо четными, либо нечетными. Если обладающая четностью частица распадается на две другие частицы, обе должны быть либо четными, либо нечетными. Если же образуются три новые частицы, то либо все три должны быть четными, либо же одна — четной, а две другие — нечетными. (Это правило легко понять на примере обычных четных и нечетных чисел, которые подчиняются тем же законам. Например, четное число получается либо от сложения двух четных чисел, либо двух нечетных, но ни в коем случае не от сложения четного числа с нечетным.) Вот, собственно говоря, в чем смысл закона сохранения четности.

Первые проблемы возникли, когда выяснилось, что K -мезоны иногда распадаются на два пи-мезона (которые, будучи нечетными частицами, дают в результате четность), а иногда на три пи-мезона (что приводит к суммарной нечетности). Физики решили, что это два разных типа K -мезона — четного и нечетного типа, которым были присвоены имена «тета-мезон» и «тау-мезон» соответственно.

Однако, за исключением типа четности, эти частицы обладали одинаковой массой, зарядом, устойчивостью и всем остальным. Было трудно поверить, что в природе возможны столь похожие друг на друга частицы. Возможно, это одна и та же

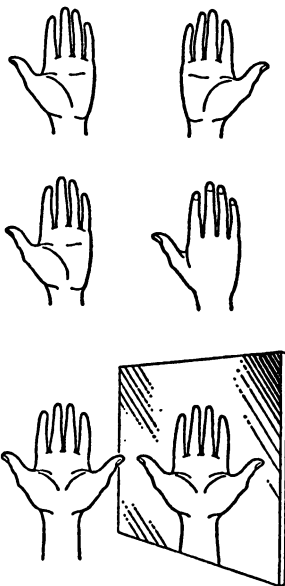
частица, а закон сохранения четности не универсален? Эту смелую идею выдвинули в 1956 году два молодых китайских физика, работавшие в США, Ч. Ли и Ч. Янг. Они предположили, что закон сохранения четности однозначно справедлив для сильных взаимодействий, но при слабых взаимодействиях (например, при распаде K -мезонов) он может нарушаться.

После того как они математически обосновали свою гипотезу, оказалось, что закон сохранения четности нарушается и частицы, вовлеченные в слабые взаимодействия, подчиняются принципу «правой и левой руки», что первым сформулировал в 1927 году венгерский физик Е. Вигнер. Вот объяснение этого принципа.

Ваши правая и левая рука являются антиподами. Каждая из них является зеркальным отражением другой: в зеркале правая рука выглядит как левая и наоборот. Если бы обе руки были полностью симметричны, то их непосредственный вид и зеркальное отражение были бы идентичны. И никакого видимого различия между правой и левой рукой просто не существовало бы. Теперь распространим этот взгляд на частицы, излучающие электроны. Если во всех направлениях вылетает одинаковое количество электронов, то правило левой и правой руки не соблюдается. Но если большая часть электронов летит в определенном направлении, скажем, вверх, то частица становится несимметричной: если взглянуть на процесс распада частицы в зеркало, там отразится ее зеркальный антипод.

Оставалось, таким образом, проверить все частицы, излучающие электроны в результате слабых взаимодействий (скажем, частицы, подверженные бета-распаду), и выяснить, вылетают при этом электроны в каком-то определенном направлении или же равномерно во все стороны. Ли и Янг обратились к коллеге из Калифорнийского университета Ч. Ву с просьбой проверить эту гипотезу экспериментально.

Чтобы зафиксировать степень пространственной равномерности электронной эмиссии, все атомы, излучающие электроны, должны оставаться в одном положении; для этого пришлось поместить образец в магнитное поле и охладить его почти до абсолютного нуля.



Зеркальная асимметрия и симметрия на примере правой и левой руки

Ответ был получен в результате непрерывных 48-часовых измерений. Электроны действительно вылетали неравномерно, демонстрируя явную асимметрию. Таким образом, закон сохранения четности в случае слабых взаимодействий не соблюдался. *Тета-мезон* и *тау-мезон* оказались одной и той же частицей, давая при распаде как четные, так и нечетные комбинации. Вскоре несоблюдение четности было показано и на других примерах. А за свои революционные открытия физики-теоретики Ли и Янг были удостоены Нобелевской премии по физике за 1957 год.

Но если закон сохранения четности нарушается при слабых взаимодействиях, то где гарантия, что нет и других исключений? В конце концов, наша Вселенная, как единое целое, может быть лево- или праворукой. Но ведь может быть и другая Вселенная — зеркальный антипод нашей; одна из них состоит из материи, а другая — из антиматерии.

После «развенчания» принципа четности его объединили с «зарядным сопряжением», другим математическим параметром элементарных частиц, определяющим статус субатомного объекта в качестве частицы или античастицы. Предполагалось, что для такой комбинированной характеристики принцип сохранения должен соблюдаться. Эта новая категория, связанная с более широким подходом к симметрии, утверждает, что все события в мире элементарных частиц не зависят от того, в каком направлении течет время — вперед или назад. Однако в 1964 году выяснилось, что и этот принцип нарушается. В результате появилось понятие «временного реверса». Это означает, что можно обнаружить различие между событиями, протекающими в реальном времени (по шкале мира элементарных частиц), и такими же событиями — но в обратном направлении. До этого большинство физиков считали такое невозможным. Чтобы разрешить возникшую дилемму, предлагается добавить еще один — уже пятый — вид сил, еще более слабых, чем гравитационные взаимодействия. Но для начала надо получить соответствующие экспериментальные доказательства, но пока их не удалось получить. И эта временная загадка продолжает будоражить ученых-физиков. Но особых поводов для паники не видно. Вероятнее всего, решение этой новой проблемы еще больше приблизит всех нас к разгадке тайн Вселенной.

Внутри ядра

Теперь, когда мы уже знаем кое-что о природе и составе атомного ядра, возникает непреодолимое любопытство разобраться в его внутреннем строении. Прежде всего, какой оно формы? Из-

за того, что оно так мало по размерам и так плотно набито протонами и нейтронами, физики, естественно, решили, что оно имеет форму шара. Детальная расшифровка атомных спектров показывает, что у большинства ядер наблюдается сферическое распределение электрического заряда. Но не у всех: есть ядра с двумя магнитными полюсами и так называемыми «квадрупольным моментом». Тем не менее их форма мало отличается от обычной сферы. Самые необычные ядра, имеющие форму вытянутого мяча для регби, у лантанидов, но даже у них продольные и поперечные размеры отличаются не больше чем на 20 процентов.

Что касается внутренней структуры ядра, упрощенная схема показывает, что это весьма плотная упаковка протонов и нейтронов, почти как капля в жидкости. Частицы в ядре плотно прилегают друг к другу с минимальными пустотами и очень малой поверхностью раздела.

Такую «капельную» модель впервые предложил Нильс Бор в 1936 году. С ее помощью он объяснил процессы поглощения и излучения частиц на примере некоторых ядер. Когда частица проникает в ядро, она передает энергию всей упаковке частиц, поэтому ни одна из них не получает достаточно энергии, чтобы немедленно покинуть ядро. И лишь по прошествии примерно 10^{-15} секунд — времени, за которое успевает произойти несколько миллиардов случайных столкновений, — некоторые частицы набирают достаточно энергии, чтобы вылететь из ядра.

Эта модель также объясняла эмиссию альфа-частиц тяжелыми ядрами, то есть нестабильными элементами с атомными номерами больше 83. В таких громоздких ядрах короткодействующие ядерные силы не распространяются на все ядро; поэтому вполне может проявиться взаимное отталкивание двух соседних протонов. В результате с поверхности ядра спонтанно срывается альфа-частица, состоящая из двух протонов и двух нейтронов (энергетически очень устойчивая комбинация). Когда ядро уменьшается до такой величины, что ядерная сила превышает силу взаимного отталкивания протонов, оно приобретает стабильность.

Капельная модель позволяет выявить и другие возможные причины ядерной неустойчивости. Если большую каплю одной жидкости поместить в другую жидкость, то в результате постоянных колебаний и движения окружающей среды эта капля будет стремиться разбиться на более мелкие сферы, а часто и на полусферы. Именно эта иллюстрация помогает понять причину деления урана. Склонное к делению ядро при соударении с нейтроном начинает, если так можно выразиться, раскачиваться изнутри. Оно может растянуться как «гантель» (что случается и с жидкой каплей), в результате чего на удаленных концах этой «гантели»

будет утрачен контроль со стороны ядерных сил и возобладает отталкивание протонов. Именно так объяснял Бор расщепление уранового ядра.

Кроме урана-235, имеются и другие потенциальные объекты для ядерного деления (что и было впоследствии доказано), но для этого необходима дополнительная энергия извне. Но если ядро имеет достаточно большие размеры, чтобы проявились силы отталкивания, расщепление ядра может произойти самопроизвольно, без внешнего толчка. (Ведь, как и любая капля, объемное ядро постоянно колеблется и раскачивается; при этом имеется вероятность, что одно из таких колебаний приведет к образованию двух ядерных осколков).

И действительно, в 1940 году советские физики Г. Флеров и К. Петржак обнаружили, что тяжелый изотоп уран-238 иногда самопроизвольно распадается без испускания какой-либо частицы. Но, как правило, неустойчивость урана проявляется в форме альфа-излучения; один килограмм урана дает всего 10 спонтанных делений в секунду, а за это же время альфа-частицы излучают около 20 миллионов ядер.

Спонтанное деление наблюдается также в случае урана-235, протактиния, тория, но чаще всего среди трансурановых элементов. Чем больше становятся ядра этих элементов, тем скорее может произойти самопроизвольное деление. У самых тяжелых элементов — эйнштейния, фермия и менделевия — это уже основной метод радиоактивного распада.

Другая популярная модель ядра представляет его в виде атома, где нуклоны находятся на определенных уровнях, образуя оболочку, поэтому такая схема получила название *оболочечная модель*.

Могут ли нуклоны удерживаться на своих орбитах внутри такой плотно упакованной конструкции, как атомное ядро? Имеются веские доказательства наличия в ядре небольшого «пустого пространства». Например, в мезонном атоме мезон может вращаться по орбите внутри ядра, хотя и недолго. Р. Хофstadтер установил, что ядро состоит из очень плотной сердцевины, окруженной «покрывалом», плотность которого постепенно снижается к краю ядра. Толщина этого покрывала составляет примерно половину радиуса ядра.

По аналогии с электронными оболочками атома можно предположить, что ядра с заполненными внешними нуклонными оболочками должны быть более устойчивыми, чем те, где имеются вакансии. Тогда наибольшей стабильностью должны обладать ядра с 2, 8, 20, 40, 70 и 112 протонами или нейтронами. Однако это не соответствует реальности. Американский физик М. Майер, обратившая внимание на спин протонов и нейтронов, обнаружила, что учет этого параметра радикально меняет ситуацию. Согласно ее расчетам, наиболее устойчивыми должны быть ядра,

содержащие 2, 8, 20, 50, 82 и 126 протонов или нейтронов, что было подтверждено опытами. По тем же расчетам, ядра с 28 или 40 протонами или нейтронами не должны отличаться особой устойчивостью. Приведенные выше «оболочечные числа» стабильных ядер иногда называют «волшебными» (соответственно числа 28 и 40 можно отнести к «полуволшебным»).

К ядрам с «волшебным числом» относятся гелий-4 (2 протона плюс 2 нейтрона), кислород-16 (8 протонов и 8 нейтронов) и кальций-40 (20 протонов и 20 нейтронов). Все эти изотопы очень устойчивы и встречаются во Вселенной чаще других ядер той же величины.

Что до более высоких «волшебных чисел», то известны 10 стабильных изотопов олова (у каждого по 50 протонов) и 4 изотопа свинца с 82 протонами. Лучше всего оболочечная теория работает для элементов, ядра которых имеют сферическую форму. У актинов и лантанидов атомные ядра имеют эллипсоидную форму, поэтому применение этой теории затруднено. В 1963 году Майер разделила Нобелевскую премию по физике вместе с двумя коллегами, Вигнером и Йенсеном, которые также внесли значительный вклад в эту теорию.

Можно сделать следующий вывод: чем сложнее строение ядра, тем реже оно встречается во Вселенной или тем менее устойчиво, возможно и то и другое. Наиболее сложными среди известных стабильных изотопов являются свинец-208 и висмут-209, у каждого из которых «волшебное число» нейтронов 126, а у свинца и 82 протона в придачу. Все остальные «тяжеловесы», стоящие за этими двумя изотопами, являются очень неустойчивыми и (как правило) короткоживущими. Хотя встречаются редкие исключения. Так, период полураспада тория-232 14 миллиардов лет! У радиоактивного калифорния-251 период полураспада измеряется несколькими веками.

Можно ли рассчитывать, что сверхтяжелые нуклиды (которые еще не открыты) окажутся достаточно стабильными, чтобы их можно было получить в сравнительно больших количествах? Ведь, в конце концов, «волшебные числа» не обрываются на 126. Предварительные расчеты показали, что можно надеяться на значительно более высокую устойчивость элемента со 114 протонами и 184 нейтронами. По своим химическим свойствам этот элемент должен напоминать свинец¹.

¹ В последние годы «остров стабильности» в конце периодической таблицы элементов обретает все большую реальность, хотя ожидания, о которых говорит автор этой книги, оправдались не в полной мере. Так, время жизни 116-го элемента, полученного в 2000 г. российскими учеными на ускорителе в Дубне, составляет 50 миллисекунд. По меркам микромира это просто фантастически долгое время жизни! Для сравнения: 112-й элемент, который был синтезирован в Германии в 1995 г., живет 240 микросекунд, то есть в 200 раз меньше. (Примеч. пер.)

Глава 7 ВОЛНЫ

Свет

Пожалуй, свет — один из самых прекрасных и полезных даров природы. Согласно Библии, одними из первых слов, сказанных Богом, были: «Да будет свет», после чего появились Солнце и Луна — могучие источники света. «И сказал Бог: да будут светила на тверди небесной для освещения Земли и отделения дня от ночи...»

Ученые мужи времен Античности и Средневековья «пребывали во тьме», не понимая природу света. Они считали, что свет состоит из частиц, которые испускают светящиеся объекты, а может быть, и сам глаз. Им удалось установить лишь самые простые факты: что свет распространяется по прямой линии, что угол падения равен углу отражения от зеркального объекта и что световой луч изгибается (преломляется), проходя через стекло, воду и другие прозрачные субстанции.

Первые значительные опыты по выявлению природы света были проведены Исааком Ньютоном в 1666 году. Сквозь узкую щель в плотных шторах он направил тонкий солнечный луч на боковую грань треугольной стеклянной призмы. При этом луч преломился — сначала при входе в призму, а затем еще раз и в том же направлении на выходе из призмы. Спроецировав преломленный луч на экран, Ньютон увидел, что луч расщепился на цветные полосы: красную, оранжевую, желтую, зеленую, голубую, синюю и фиолетовую.

Из этого Ньютон заключил, что обычный белый свет является смесью различных видов света, которые, попадая нам в глаз, создают ощущение различных цветов. Широкий набор последовательных цветных полосок получил название *спектр*, что по-латыни означает «дух», «призрак».

Ньютон решил, что свет состоит из крошечных частиц (*корпускул*), движущихся с огромной скоростью. Это объясняло, почему свет распространяется по прямым траекториям, давая резкую тень на своем пути. Он отражался от зеркал, поскольку частицы ударялись о поверхность, преломлялся при входе в плотную прозрачную среду (например, воду или стекло), потому что частицы в таких материалах передвигались быстрее, чем на воздухе.

Но немало вопросов оставалось без ответа. Скажем, почему зеленые лучи преломляются сильнее желтых или красных? Как получается, что два световых луча пересекаются безо всяких изменений, то есть без столкновения частиц?

В 1678 году голландец Христиан Гюйгенс (блестящий механик и ученый, первым сконструировавший маятниковые часы и сде-

лавший ряд астрономических открытий) выдвинул другую теорию, согласно которой свет распространяется в виде микроволн. В таком случае легко удавалось объяснить различия в преломлении лучей разного цвета: коэффициент преломления определяется длиной волны — чем короче световая волна, тем сильнее *рефракция*. Это означало, что самые короткие лучи — фиолетовые, далее идут синие, голубые, зеленые и т. д. Именно различием в длинах волн определяется и цветовое воздействие лучей на человеческий глаз. И разумеется, поскольку свет состоит из волн, то два пересекающихся луча никак не влияют друг на друга. (Точно так же, как звуковые или водные волны без потерь проходят друг сквозь друга.)

Однако волновая теория Гюйгенса объясняла не всё. В частности, она не могла объяснить, почему световые лучи распространяются по прямым линиям, оставляя за собой резкие тени, а не огибают непрозрачные объекты, как это характерно для водных или звуковых волн. Кроме того, если свет состоит из волн, как они умудряются распространяться в вакууме, добираясь от далекого Солнца до нашей планеты. Что это за среда, которая переносит световые волны столь волшебным образом?

Почти целое столетие эти две теории соперничали друг с другом. Долгое время первенство держала корпускулярная теория Ньютона — частично по причине ее большей логичности, а частично за счет высокого авторитета самого Ньютона. Однако в 1801 году английский врач и естествоиспытатель Томас Юнг провел опыт, заметно поколебавший веру в ньютоновскую гипотезу. Пропустив узкий луч света через два близко расположенных отверстия, Юнг спроектировал его на экран. Если бы свет действительно состоял из частиц, то раздвоенный луч должен был дать на экране два участка — более яркий, где лучи накладываются друг на друга, и менее освещенный — где такого наложения не было. Но реальная картина была иной: на экране получилась серия чередующихся светлых и темных полос. Получалось, что на этих темных участках два луча полностью гасили друг друга!

А вот волновая теория это явление легко объясняла. Светлые полосы появились в месте усиления волн одного луча волнами другого; другими словами, в данном случае волны совпадали «по фазе», взаимно подкрепляя друг друга. В то же время темные полосы обозначали участки, где волны находились в «противофазе», взаимно ослабляя друг друга.

По ширине полос и расстоянию между двумя отверстиями, из которых выходят эти два луча, удалось рассчитать длины различных световых волн — красного цвета, фиолетового и всех промежуточных. Эти волны оказались довольно короткими. Скажем, красный цвет имеет длину волны 0,000075 сантиметра. (В наше

время для обозначения длины волны используется более удобная единица измерения — *ангстрем* (А), равная 10^{-8} сантиметрам. Тогда длина волны красного света составляет 7500 А, а фиолетового — 3900 А. Остальные цвета находятся внутри этого диапазона.)

Длина световой волны является очень важной характеристикой. Свет распространяется по прямой и оставляет резкие тени за непрозрачными объектами потому, что длина световых волн намного меньше размеров этих объектов; световые волны огибают препятствия, лишь когда эти препятствия сопоставимы по размеру со световыми волнами. Даже бактерия является громадным объектом в масштабах световых волн, поэтому она четко видна под микроскопом — со всеми подробностями и светотенями. И лишь вирусы приближаются по величине к световым волнам, которые будут их огибать.

Французский физик О. Френель экспериментально показал в 1818 году, что, если расположенный на световом пути объект достаточно мал, световые волны действительно его огибают. Образуемая при этом картинка получила название *дифракционная*. Например, близко расположенные тонкие линии *дифракционной решетки* действуют как согласованная группа микрообъектов, взаимно усиливающих друг друга. Поскольку величина дифракции определяется длиной волны, то на диаграмме получается цветной спектр. По положению той или иной цветной полосы этого спектра и по расстоянию между линиями дифракционной решетки можно рассчитать соответствующую длину волны.

Фраунгофер был первым, кто стал использовать такие дифракционные решетки, что забывается из-за его более известного открытия спектральных линий. Американский физик Г. Роуланд изобрел вогнутую дифракционную решетку и придумал способ наносить до 20 000 прямых линий на 1 дюйм. Его изобретения позволили вытеснить из практики спектральных измерений громоздкие призмы.

Экспериментальные успехи, наряду с работами Френеля по математической систематизации волновых процессов, позволили еще больше утвердить волновую теорию света, казалось бы, навсегда.

Была не только установлена волновая природа света, но и сами длины волн удалось измерить с высокой точностью. В 1827 году французский физик Ж. Бабинэ предложил использовать в качестве физического стандарта длины длину световой волны, которая не подвержена никаким изменениям. Это предложение было внедрено в практику лишь в 1880-х годах, когда американский физик А. Майкельсон изобрел инструмент интерферометр, с помощью которого длину световой волны можно было измерить с беспрецедентной точностью. В 1893 году Майкельсон измерил длину красной линии в спектре кадмия, оказавшейся равной $\frac{1}{1553164}$ метра.

Некоторые неопределенности в этих измерениях оставались до тех пор, пока не установили, что элементы включают различные изотопы, длины волн которых пусть и слегка, но отличаются между собой. В 1930-х годах был получен спектр криптона-86. Работа проводилась при низких температурах, когда подвижность атомов уменьшается, поэтому спектральные линии оказались более четкими.

В 1960 году линия криптона была принята в качестве фундаментального стандарта длины на Международной конференции мер и весов. Длина метра была определена как 1650763,73 длины волн выбранной линии криптона-86, что повысило точность измерения длины в тысячу раз. Прежний стандарт длины, метр, удавалось измерить с точностью до одной миллионной доли, а световую волну — до одной миллиардной.

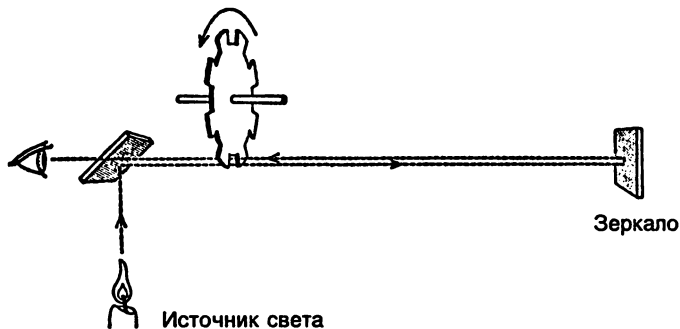
Свет обычно распространяется с огромной скоростью. При выключении света темнота наступает мгновенно. Для звука картина иная. Если в удалении от себя вы увидите рубящего дрова человека, то звук его топора доходит до вас не сразу, а спустя несколько мгновений. Звуку требуется некоторое время, чтобы добраться до вашего уха. Звук в воздухе на уровне моря распространяется со скоростью 340 м/с.

Первым попытался измерить скорость света великий Галилео Галилей. Они с помощником заняли позиции на отстоящих друг от друга холмах, и, когда Галилей снимал покрывало с зажженного фонаря, видевший вспышку помощник должен был в ответ сигнализировать своим фонарем. Галилей проводил этот опыт, увеличивая дистанцию и полагая, что дополнительное время, которое понадобится помощнику на ответ, будет зависеть от дополнительного расстояния. Сама идея выглядела вполне разумной, но свет распространялся слишком быстро, чтобы Галилей мог зафиксировать какие-то изменения.

В 1676 году датский астроном О. Ремер сумел оценить скорость света, используя астрономические расстояния. Наблюдая затмения четырех спутников Юпитера, Ремер обратил внимание, что промежутки между последовательными затмениями увеличивается, когда Земля удаляется по орбите от Юпитера, и становится короче, когда Земля приближается к Юпитеру. Вероятно, подумал ученый, при изменении расстояния между двумя планетами изменяется и время, необходимое для того, чтобы свет от Юпитера дошел до Земли. Грубо оценив размеры земной орбиты и зная временную разницу в затмениях спутников Юпитера, Ремер подсчитал, что скорость света составляет 140 000 миль/с. Понятно, что такое огромное число, полученное в результате весьма дерзкой, хотя и успешной, попытки, вызвало недоверие у современников астронома.

Однако полвека спустя расчеты Ремера были подтверждены, но совершенно другим способом. В 1728 году английский астроном Дж. Брэдли обнаружил, что по ходу движения Земли положение звезд на небе периодически не меняется; и происходит это не по причине параллакса, а из-за того, что скорость Земли по гелиоцентрической орбите является соизмеримой с небольшой долей скорости света. Тут можно привести известную аналогию, когда человек с зонтом идет под дождем. Хотя капли дождя падают вертикально, он вынужден при ходьбе наклонять свой зонт вперед. Чем быстрее он передвигается, тем сильнее наклоняет зонт. Точно так же Земля движется среди световых лучей звезд, причем в разных направлениях, при изменении траектории Земли. По величине этого наклона (*световой аберрации*) Брэдли сумел рассчитать скорость света со значительно большей точностью, чем Ремер.

В дальнейшем ученые разработали еще более точные методики на основе той идеи, которую когда-то предложил Галилей. В 1849 году французский физик А. Физо сконструировал устройство, в котором вспышки света отражались в зеркале, помещенном на расстоянии 5 миль, и возвращались назад к наблюдателю. Свет от одной вспышки, прошедший расстояние 10 миль, возвращался уже через $\frac{1}{20000}$ секунды, но Физо сумел измерить этот мизерный временной интервал с помощью быстро вращающегося зубчатого колеса, установленного на пути луча. При вращении колеса с определенной скоростью вспышка, проскочившая между двумя зубцами, при возвращении назад (после отражения от зеркала) попадала в следующий зубец, и наблюдатель не мог ее зафиксировать. При ускорении колеса возникали условия, ког-



Установка Физо для измерения скорости света. Свет, отраженный полупрозрачным зеркалом, расположенным рядом с источником, проходит через прорезь в быстровращающемся зубчатом колесе и попадает на удаленное зеркало (*справа*), после отражения от которого луч возвращается назад и перекрывается следующим зубцом колеса

да отраженная вспышка проскакивала через следующую прорезь. Таким образом, контролируя и измеряя скорость вращения колеса, Физо вычислил время прохождения светового луча, а затем и его скорость.

Год спустя Жан Фуко (практически в одно время с проведением своего знаменитого эксперимента с маятником; см. главу 3) добился еще более точных результатов, заменив зубчатое колесо вращающимся зеркалом. При этом суммарное время, затраченное лучом на прохождение замкнутого маршрута, определялось по небольшому изменению угла отражения от быстро вращающегося зеркала. По данным Фуко скорость света в воздухе оказалась равной почти 187 000 миль/с. Кроме того, Фуко определил скорость света в жидких средах. Неожиданно оказалось, что там свет распространяется заметно медленнее, чем в воздухе, что еще раз подтвердило справедливость волновой теории Гюйгенса.

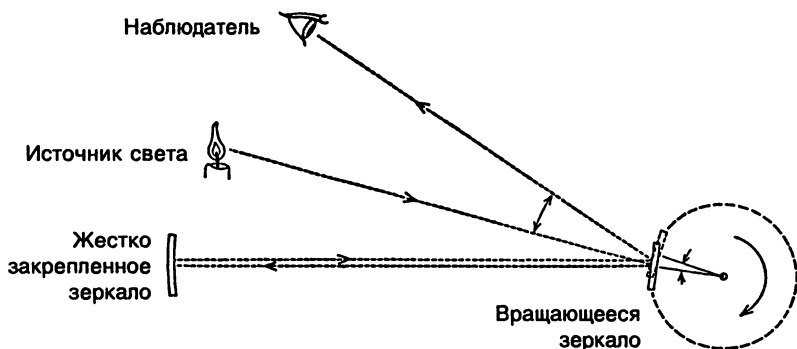


Схема измерений Фуко. Скорость света рассчитывалась по сдвигу светового луча, отраженного от вращающегося зеркала

Еще более высокой точности достиг Майкельсон, который на протяжении 40 лет, начиная с 1879 года, упорно совершенствовал метод Физо—Фуко, постепенно добываясь все более и более точных результатов. В окончательном варианте его измерительной установки свет проходил не через воздух (который все-таки слегка замедлял ход светового луча), а через вакуумный стальной трубопровод длиной более полутора километров. По уточненным данным Майкельсона скорость света в вакууме составляет 186 284 мили/с. Ему также удалось доказать, что свет с любой длиной волны распространяется в вакууме с одинаковой скоростью.

Наконец, в 1963 году было установлено окончательное значение скорости света — 186 281,7 миль/с. Более точное значение этого фундаментального параметра позволяет нам точнее определять расстояния, особенно между астрономическими объектами.

Представим себе световой импульс, который, сталкиваясь с препятствием на своем пути, отражается от него, возвращаясь в ту же точку, откуда вышел мгновение назад. Достаточно длинные световые волны легко пробиваются через облака, туман и пылевые скопления, а вот более короткие волны отражаются от таких объектов. Наиболее подходящими оказались микроволны (очень короткие радиоволны) в диапазоне от 0,5 до 100 см. По времени, которое тратится ими на достижение поверхности удаленного объекта и возвращение назад, можно с высокой точностью измерить расстояния.

Над разработкой подобных приборов работали многие физики, но наиболее практичное устройство такого типа первым придумал шотландский ученый Р. Уотсон-Уатт. В 1935 году он установил его на самолете, благодаря чему летчик получил возможность ориентироваться в пространстве по отражениям радиоволн этого микроволнового излучателя. Метод получил название *радионавигационная система*. Позднее, путем сокращения английского названия этого устройства, было придумано более короткое название *радар*. (Такие сокращения, или акронимы, очень широко используются в современной науке и технике.)

Впервые мир услышал о радаре, когда появилось сообщение о том, как английские силы ПВО в начале Второй мировой войны издалека обнаружили приближение самолетов фашистской Германии, несмотря на ночь и густой туман. Таким образом, радар внес свой вклад в общую победу над нацизмом.

После Второй мировой войны у радара появилось огромное поле вполне мирных применений. С его помощью фиксировали приближение ураганов, строили метеорологические прогнозы, определяли приближение к Земле метеоритных потоков и т. д. Одно из наиболее интересных и неожиданных применений радионавигационных устройств связано с контролем за сезонными перелетами птиц.

И как уже отмечалось во 2-й главе, обследование Венеры и Меркурия с помощью радаров позволило астрономам получить новые знания об орбитах этих планет и поверхности Венеры.

Несмотря на многие доказательства в пользу волновой природы света, физиков постоянно беспокоил один важный вопрос: каким образом он распространяется через разреженное пространство? Ведь для всех других волн — например, звуковых — требуется материальная среда. (По этой причине мы не сможем слышать даже самый мощный взрыв на Луне.) Было также непонятно, почему свет в вакууме распространяется быстрее, почему до нас доходят лучи от самых удаленных галактик.

Для классической физики вопросы, связанные с действием сил на расстоянии, всегда были очень трудными. Так, Ньютон не мог себе представить, каким образом силы притяжения действуют на большом удалении объектов друг от друга. В качестве

возможного объяснения он использовал представление античных мыслителей об «эфире», который разлит по вселенной и через который, вероятно, каким-то образом передается действие гравитационных сил.

Пытаясь объяснить прохождение света через пространство, физики решили, что и свет переносится посредством такого эфира. Появилось представление о «светоносном эфире». Но эта идея сразу столкнулась с трудностями. Световые волны — поперечные по своей природе: они распространяются в направлении перпендикулярном движению светового луча — словно рябь по водной поверхности, что отличает их от «продольных» звуковых волн. В наше время физики знают, что поперечные волны могут распространяться лишь в *плотных* средах. (Поперечные водяные волны, которые распространяются по водной поверхности, представляют особый случай, однако и они не могут проходить через толщу воды.) Следовательно, эфир должен быть очень плотной средой, а не жидкостью или газом. Он должен быть не просто жестким; чтобы пропускать волны со столь огромной скоростью, он должен быть намного жестче стали. Более того, он должен быть проницаем для обычных веществ — не просто для разреженного пространства, но и для газов, воды, стекла и других светопрозрачных материалов.

Но, чтобы выполнить эти условия, сверхплотность и жесткость должны сочетаться с полным отсутствием трения — как с самыми малыми космическими объектами, так и с человеческим глазом.

Но, несмотря на такое невероятное сочетание противоположных качеств, представление об эфире надолго утвердилось среди физиков. Фарадей, не имевший даже основ математического образования, но обладавший необыкновенной проницательностью, разработал теорию силовых линий — линий, вдоль которых магнитное поле имеет одинаковое значение, — представив их в форме эластичных искажений эфирного пространства, с помощью которых он пытался — и довольно успешно — объяснять многие магнитные явления.

В 1860 году К. Максвелл, большой поклонник Фарадея, разработал математическое обоснование для идеи, которую выдвинул его кумир. В итоге он вывел четыре простых уравнения, которые охватывали практически все известные физические явления, включая электричество и магнетизм. Эти уравнения, опубликованные в 1864 году, не только описывали электрические и магнитные отношения, но и показывали, что эти явления неотделимы друг от друга. Там, где имелось электрическое поле, обязательно возникало и магнитное, и наоборот. Таким образом, в действительности существовало лишь *электромагнитное поле*. Кроме того, из полученных Максвеллом уравнений вытекало, что переменное электрическое поле обязательно вызывает появление

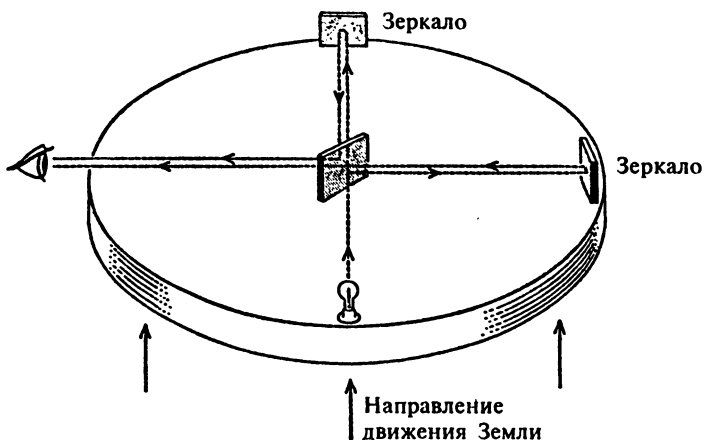
магнитного, которое, в свою очередь, индуцирует электрическое и т. д.; своего рода «игра в чехарду», в результате которой электромагнитное поле распространяется во всех направлениях. Результатом такого процесса является *электромагнитная радиация*. Короче говоря, Максвелл предсказал существование *электромагнитного излучения*.

Теория Максвелла даже позволила рассчитать скорость распространения электромагнитных волн. Для этого надо определить соотношение силы взаимодействия электрических зарядов и магнитной силы. Это соотношение оказалось равным скорости света, что не могло оказаться случайным совпадением. Свет являлся электромагнитным излучением, но наряду с видимым светом существовали и другие виды радиации — с более длинными и более короткими волнами, и все эти излучения переносились с помощью эфира.

Кстати, уравнения Максвелла породили проблему, не решенную до сих пор. Оказалось, что между электричеством и магнетизмом существует абсолютная симметрия: то, что справедливо для одного явления, в той же степени соблюдается и для другого. Но наряду с этим имелось одно коренное отличие. Так, частицы могли нести лишь один тип заряда — положительный либо отрицательный, но никак не оба одновременно. Скажем, электрон заряжен отрицательно, а позитрон — положительно. Но в то же время не встречается частиц только с одним магнитным полюсом — северным или южным. Такие магнитные монополи еще никому не попадались. У каждой магнитной частицы обязательно два полюса — северный и южный. Согласно расчетам, для получения монополя требуется огромная энергия, которой обладают разве что космические лучи, но пока следов таких частиц обнаружить не удалось.

Представление об эфире, несмотря на все могущество этой теории, потерпело разгромное поражение в результате экспериментов, проведенных с целью проверки другой, не менее классической проблемы, чем «удаленные взаимодействия», а именно: загадки абсолютного движения.

К началу XIX века стало совершенно ясно, что Земля, Солнце, звезды — а фактически и все другие космические объекты — находятся в непрерывном движении. Но где в таком случае располагается точка отсчета, или «точка абсолютного покоя», на которой строятся все классические законы физики Ньютона? Одно из возможных объяснений, выдвинутых самим Ньютоном, состояло в том, что сама «ткань» Вселенной (скажем, тот же эфир) находится в состоянии покоя, и ее можно охарактеризовать как «абсолютное пространство». А если эфир «неподвижен», то с ним можно сопоставить «абсолютное движение» любого объекта.



Интерферометр Майкельсона. Полупрозрачное зеркало (в центре) делит световой поток на две части — одну отражает под прямым углом, а вторую пропускает без изменения. Если бы после отражения от неподвижных зеркал, расположенных под углом 90° (справа и прямо перед вами), лучи возвратились бы со сдвигом во времени, то наблюдатель зафиксировал бы соответствующий сдвиг по фазе

В 1880-х годах А. Майкельсон разработал блестящую методику для осуществления такого эксперимента. Если Земля и в самом деле движется сквозь неподвижный эфир, решил ученый, то луч света, посланный в направлении ее движения и отраженный обратно, должен пройти этот путь быстрее, чем такой же световой луч, направленный под углом 90 градусов. Для выполнения этого эксперимента Майкельсон изобрел интерферометр, прибор с полупрозрачным зеркалом, через которое часть света проходила насквозь, а другая часть отражалась под прямым углом. Далее оба луча, отраженные от поставленных на их пути зеркал, фиксировались наблюдателем, расположившимся рядом с источником света. Если бы один из этих лучей распространялся немного быстрее, чем другой, то в результате их смещения по фазе в конечной точке должна наблюдаться интерференционная диаграмма. Интерферометр весьма чувствителен к разнице во времени хода лучей — настолько, что способен фиксировать посекундный рост растений и даже диаметр звезд, которые выглядят безразмерными точками в самый мощный телескоп.

Идея Майкельсона заключалась в том, чтобы уловить интерферометром изменения в ходе лучей, по-разному направленных относительно движения Земли, и количественно определить величину этого расхождения.

В 1887 году, с помощью американского химика Э. Морли, Майкельсон разработал и осуществил чрезвычайно чувствительный вариант такого опыта. Установив свой чувствительный ин-

терферометр на поверхности жидкой ртути, где тот плавно и без труда поворачивался в любом направлении, они спроектировали несколько световых лучей, разнонаправленных относительно движения Земли. И не обнаружили практически никакой разницы в их поведении! Интерференционные диаграммы имели абсолютно одинаковый вид независимо от направления лучей и числа проведенных измерений. (Следует заметить, что те же отрицательные результаты дали и недавно проведенные эксперименты — по той же методике, но с более чувствительными детекторами.)

Этот опыт поколебал самое основание классической физики. Либо сам эфир перемещался вместе с Землей, что было лишено всякого смысла, либо никакого эфира просто-напросто не существовало. В любом случае не было никакого «абсолютного движения» или «абсолютного пространства». Таким образом, классическая физика оказалась «голым королем» из сказки. Ньютоновская физика справлялась с миром обычных расстояний и скоростей: движения планет по-прежнему подчинялись законам притяжения, а земные объекты — законам инерции и действия-противодействия. Но оказалось, что классических объяснений недостаточно и существуют явления, неподвластные классическим правилам. Накопившиеся факты — как старые, так и новые — требовали принципиально нового подхода и объяснения.

Эксперимент Майкельсона—Морли можно считать одним из самых важных «неудачных опытов» за всю историю науки и техники. В 1907 году Майкельсон стал первым гражданином США, удостоенным Нобелевской премии по физике.

Относительность

В 1897 году ирландский физик Дж. Фитцджеральд выдвинул новое объяснение отрицательного результата вышеупомянутого опыта Майкельсона—Морли. Он предположил, что любое вещество претерпевает сжатие в направлении своего движения, причем степень этого сжатия возрастает с увеличением скорости. Согласно этой гипотезе, сам интерферометр также испытывал сжатие в направлении «истинного» движения Земли, величина которого компенсировала разницу в расстоянии, пройденном лучом света в прямом и перпендикулярном направлении. Более того, любые измерительные приборы, включая человеческие органы чувств, претерпевают такое же «укорачивание». Это объяснение говорило о том, что сама природа сопротивляется тому, чтобы человек измерил абсолютное движение.

Это обескураживающее заключение получило у физиков название сжатия по Фитцджеральду; автор вывел для него специальное уравнение. Объект, движущийся со скоростью 7 миль/с (что сравнимо со скоростью современных космических ракет), укора-

чивается в направлении полета лишь на 2×10^{-11} процентов. При более высоких скоростях, характерных для природных космических объектов, такое «сжатие» намного более существенно. Так, при скорости 93 000 миль/с (половина скорости света) эта величина составит уже 15 процентов, а при 163 000 миль/с ($\frac{7}{8}$ скорости света) — целых 50 процентов! Таким образом, летящая с такой скоростью метровая линейка покажется нам лишь полуметровой (если только мы найдем способ ее измерить). А при скорости света любой объект «укоротится» до нуля, то есть фактически исчезнет из вида! А поскольку меньше нуля ни один предмет стать не может, скорость выше скорости света в вакууме нигде во Вселенной невозможна.

Голландский физик Г. Лоренц вскоре продвинул идею Фицджеральда еще на шаг вперед. Он предположил (применительно к катодным лучам, которыми занимался), что если частица «укорачивается» при движении и ее заряд занимает меньший объем, то масса этой частицы неизбежно должна возрасти.

Лоренц вывел уравнение прироста массы, сходное с уравнением сжатия по Фицджеральду. При скорости 93 000 миль/с масса электрона возрастает на 15 процентов; при 163 000 миль/с — на 100 процентов; а при скорости света масса становится неопределенно большой. Снова получалось, что сверхсветовые скорости невозможны, поскольку бесконечная масса лишена смысла.

Эффект линейного сжатия по Фицджеральду и увеличения массы по Лоренцу так тесно связаны между собой, что их объединили в одну систему под названием уравнения Фицджеральда—Лоренца.

Но если сжатие невозможно измерить, то приращение массы можно косвенно определить. Отношение заряда электрона к его массе устанавливается по величине его отклонения в магнитном поле. С увеличением скорости электрона увеличивается его масса, но не заряд; поэтому соотношение масса/заряд возрастает с ускорением частицы. В 1900 году немецкий физик В. Кауффман экспериментально установил, что это отношение растет в точном соответствии с уравнениями Фицджеральда—Лоренца. Все последующие опыты подтвердили его результаты.

Утверждая, что скорость света невозможно превзойти, следует помнить, что речь идет о скорости света в вакууме (186 282 мили/с). В прозрачных, но более плотных средах свет движется с меньшей скоростью. Его скорость в этих случаях определяется скоростью в вакууме, деленной на коэффициент преломления среды. (Коэффициент преломления, или рефракции, определяется степенью изгиба светового луча на границе перехода из вакуума в плотную прозрачную среду.)

Для воды коэффициент преломления составляет 1,3, поэтому скорость света в воде равняется 143 000 миль/с. В стекле (коэффициент преломления 1,5) эта скорость — 124 000 миль/с, а в

алмазе (коэффициент преломления 2,4) — всего-навсего 78 000 миль/с.

В некоторых случаях субатомные частицы движутся в плотных прозрачных средах быстрее скорости света в тех же условиях (но не выше скорости света в вакууме). При этом частицы испускают голубое сияние, как в случае реактивного самолета, преодолевшего звуковой барьер.

Первым такое свечение обнаружил русский физик П. Черенков в 1934 году; а в 1937 году теоретическое объяснение этого эффекта дали его коллеги И. Франк и И. Тамм. В результате все трое получили Нобелевскую премию по физике за 1958 год.

На основе открытого явления создан новый тип детекторов — счетчики Черенкова, которые особенно широкое применение нашли при исследовании сверхбыстрых частиц, в частности космических лучей.

Пока основы физики сотрясались, последовал еще один взрыв.

Как-то возник вопрос, связанный с излучением при нагревании вещества. (Хотя это излучение, как правило, распространяется в форме света, у физиков принято говорить о нем как об «излучении черного тела». В данном случае имеется в виду физически идеальное тело, полностью поглощающее падающий на него свет — без отражения — и так же полностью его излучающее.) В 1879 году австрийский физик Й. Стефан показал, что суммарное излучение тела зависит только от его температуры (а не от природы вещества, из которого оно состоит) и что в идеальных условиях величина этой радиации прямо пропорциональна четвертой степени абсолютной температуры: то есть удвоение абсолютной температуры приводит к 16-кратному росту излучения (закон Стефана).. Было также установлено, что с ростом температуры спектр излучения смещается в коротковолновую область. По мере нагревания стального слитка сначала он испускает инфракрасные лучи, затем приобретает красный оттенок и, наконец, — вблизи температуры кипения — светится синевато-белым цветом.

В 1893 году немецкий физик В. Виен разработал теорию радиационного распределения энергии абсолютно черного тела, то есть определил, какая энергия приходится на те или иные длины волн. Выведенная им формула весьма точно описывала распределение по энергиям в фиолетовом участке спектра, но значительно хуже обстояло дело с длинноволновым концом спектра. (За свои работы в этой области Виен удостоен Нобелевской премии по физике за 1911 год.) С другой стороны, английские физики лорд Рейли и Дж. Джинс вывели свое уравнение для энергетического распределения в красном участке спектра, которое, в свою очередь, плохо справлялось с количественным описанием коротковолнового излучения. Иными словами, каждая из двух теорий была пригодна лишь для своей половины спектрального диапазона.

Эту проблему решил немецкий физик М. Планк, который для того, чтобы уравнения адекватно описывали реальные факты, сделал одно важное добавление. Он предложил разбить излучение на небольшие единицы или порции, точно так же, как материя разбита на атомы. Эту единицу излучения он назвал *квант* (что по-латыни означает «как много?»). Планк утверждал, что излучение может поглощаться только в форме целочисленных квантов. Помимо этого, он выдвинул идею, что величина энергии кванта определяется длиной волны соответствующего излучения. Чем меньше длина волны, тем выше энергия кванта; или, по-другому, энергия кванта обратно пропорциональна длине волны.

Таким образом, квант можно было напрямую соотносить с частотой радиации. Аналогично энергии кванта частота обратно пропорциональна длине волны излучения. А если обе эти величины связаны с длиной волны обратно пропорциональной зависимостью, значит, они сами связаны друг с другом коэффициентом пропорциональности. Планк выразил эту идею своим знаменитым уравнением:

$$e = h \nu$$

Символ e обозначает квантовую энергию, ν (греческая буква ню) — частоту, а h — это постоянная Планка.

Константа h очень мала по величине, так же как и энергия самого кванта. Единицы излучения столь малы, что свет представляется нам непрерывным потоком, как и обычная материя представляется сплошной, неделимой массой. Но в начале XX столетия с энергией произошло то же самое, что и с материей в начале XIX века: и та и другая оказались состоящими из частиц.

Введенные Планком квантовые представления прояснили соотношение между температурой и длиной волны излучаемой радиации. Квант фиолетового света вдвое превосходит по энергии квант красного света, поэтому, естественно, для получения коротковолнового кванта тело надо нагреть сильнее, чем для получения красного свечения. Выведенные на основе квантовых представлений уравнения помогли подробно разобраться в излучении черного тела на всех участках спектра.

Постепенно квантовая теория Планка далеко продвинулась вперед, уверенно завоевав новые позиции: она помогла понять поведение атомов, электронов на оболочках и нуклонов в атомных ядрах. Сам Планк был удостоен Нобелевской премии по физике за 1918 год.

Однако сразу после публикации в 1900 году гипотеза Планка не произвела особого впечатления на коллег. Она выглядела слишком экстравагантной для того времени. Ее выводы немногo испугали даже самого автора. Но уже 5 лет спустя в поддер-

жку существования квантов выступил молодой физик Альберт Эйнштейн.

Незадолго до этого немецкий физик Ф. Ленард обнаружил интересное явление: когда свет попадает на некоторые металлы, с их поверхности вылетают электроны, словно выбитые светом из атомов металла. Это явление получило название *фотоэлектрический эффект*, а за его открытие Ленард получил Нобелевскую премию по физике за 1905 год. Как только физики приступили к подробному изучению этого явления, они, к своему удивлению, выяснили, что увеличение интенсивности светового луча не приводит к росту энергии фотоэлектронов. Зато изменение длины световой волны давало весьма заметный эффект: например, при облучении синим светом скорость фотоэлектронов сильно возрастала по сравнению с желтым светом. Хотя тусклый синий цвет приводил к испусканию лишь считанных электронов, зато эти «синецветные» частицы намного превосходили по скорости любые «желтоцветные» электроны. С другой стороны, красный свет — независимо от степени яркости — вовсе не вызывал фотоэмиссию электронов практически из всех металлов.

Традиционный подход никак не мог объяснить все эти явления. Почему то, что может делать синий свет, не под силу красному?

Эйнштейн нашел ответ в квантовой теории Планка. Для поглощения энергии, достаточной, чтобы покинуть металлическую поверхность, электрон должен получить удар кванта с уровнем энергии не ниже определенного уровня. В тех атомах, где внешние электроны непрочны удерживаются на орбите (например, в цезии), бывает достаточно даже кванта красного света. Там же, где электроны удерживаются прочнее, необходим более коротковолновый свет — желтый, фиолетовый или даже ультрафиолетовый. И чем больше энергия светового кванта, тем выше скорость выбитого фотоэлектрона.

Как мы видим, квантовая теория легко разъяснила те вопросы, на которые классическая концепция не давала сколь-нибудь удовлетворительных ответов. Квантовая механика быстро и успешно прокладывала себе путь и в других областях. За исследования фотоэлектрического эффекта (а вовсе не за теорию относительности, как принято думать) Эйнштейн был награжден Нобелевской премией по физике за 1921 год.

В своей работе «Специальная теория относительности», увидевшей свет в 1905 году и написанной им в свободное от основной работы время (он служил экспертом в Швейцарском патентном бюро), Эйнштейн изложил новый фундаментальный взгляд на Вселенную, основанный на расширенном толковании квантовой теории. Он предположил, что свет распространяется по Вселенной в форме квантов (или *фотонов*), тем самым вернув к жизни — спустя почти два столетия — корпускулярную теорию

Ньютона. Но это был принципиально новый тип частиц. Они одновременно обладали свойствами и волн, и частиц, проявляя их в зависимости от конкретных условий.

Гипотеза Эйнштейна выглядела парадоксальной, даже мистической, из-за двойственной природы света. Но в действительности все обстояло проще. Возьмем для примера такую аналогию: мужчина в обществе может одновременно выполнять несколько функций: мужа, отца, друга, бизнесмена. И в зависимости от обстоятельств он ведет себя как муж, отец, друг или бизнесмен. Вряд ли уместно проявлять качества мужа при обращении с клиентом или достоинства предпринимателя — в разговоре с женой. Понятно, что в такой ситуации нет ничего парадоксального.

Точно так же свет обладает одновременно корпускулярными (или дискретными) и волновыми (или непрерывными) свойствами. В некоторых случаях проявляются преимущественно корпускулярные качества, в других — волновые. Двойственный характер позволяет намного лучше понять поведение светового излучения по сравнению с причислением его к какому-то одному типу.

Открытие волновой природы света позволило добиться в XIX веке замечательных результатов в различных областях прикладной оптики, включая спектроскопию. Но вместе с тем это заставило физиков опереться на сомнительный постулат о существовании эфира. Теперь же открытие Эйнштейна, позволив сохранить все замечательные достижения волновой теории (включая уравнения Максвелла), сняло с повестки дня эту недостоверную гипотезу. Излучение может распространяться в вакууме благодаря своим дискретным свойствам, поэтому устаревшее представление об эфире можно было забыть.

В «Специальной теории относительности» Эйнштейн выдвинул и другую краеугольную идею: скорость света в вакууме постоянна, независимо от движения источника света. Согласно классической механике Ньютона, свет от источника, приближающегося к наблюдателю, достигает его глаз быстрее, чем тот же свет, идущий от удаляющегося источника. А теория Эйнштейна опровергала это утверждение и объясняла смысл уравнений Лоренца—Фицджеральда. Эйнштейн показал, что увеличение массы с ростом скорости, которое сам Лоренц распространял лишь на заряженные частицы, справедливо для любых объектов. Эйнштейн также пришел к заключению, что увеличение скорости вызывает не только линейное сжатие объектов и рост их массы, но и приводит к замедлению хода времени: другими словами, по мере ускорения часы замедляют свой ход.

Самым фундаментальным аспектом теории Эйнштейна стало отрицание существования «абсолютного пространства» и «абсолютного времени». На первый взгляд это может показаться чепу-

хой: как человеческий разум может хоть что-нибудь понять в устройстве и развитии Вселенной, если не существует никакой точки отсчета? На это Эйнштейн ответил: нужно выбрать систему отсчета, к которой и будут привязаны все события во Вселенной. Для этого годится любая система отсчета (неподвижная Земля, неподвижное Солнце или мы сами в состоянии покоя), и необходимо лишь определить наиболее удобную систему координат. Например, за движением планет лучше наблюдать, используя в качестве точки отсчета неподвижное Солнце, а не Землю, хотя принципиально пригодны оба варианта.

Такие пространственно-временные измерения применительно к выбранной системе отсчета носят «относительный» характер, поэтому теорию Эйнштейна вполне обоснованно называют теорией относительности.

Для иллюстрации рассмотрим такой пример. Положим, мы наблюдаем с Земли за странным космическим объектом, планетой X, такой же по размерам и массе, как наша собственная, но которая мчится относительно нас со скоростью 163 000 миль/с. Если бы мы сумели измерить ее размеры по ходу движения, то обнаружили бы, что в направлении своего полета она укоротилась на 50 процентов (напоминая скорее эллипсоид, а не шар), а масса ее по сравнению с Землей удвоилась.

Обитателям же планеты X кажется, что их планета — как и они сами — пребывает в состоянии покоя. Зато Земля, по их мнению, несется со скоростью 163 000 миль/с, напоминая по форме сплюснутый шар в 2 раза тяжелее *их собственной* планеты.

Невольно возникает вопрос: какая же из планет *на самом деле* укоротилась и потяжелела? Единственно правильным ответом на него будет: все зависит от системы отсчета. Если вас такой ответ не удовлетворяет, вспомните, что человек выглядит мелким существом рядом со слоном, но настоящим великаном рядом с кошкой. А как в таком случае *однозначно* решить, что за существо человек — большое или маленькое?

Несмотря на всю свою необычность, теория относительности объясняет все известные явления, имеющие место во Вселенной, по крайней мере, не хуже всех классических теорий. Но при этом она простирается намного дальше и глубже: она помогает понять те явления, которые классическая механика даже не бралась объяснять. Ньютонский взгляд на Вселенную вполне пригоден для упрощенного понимания, которое вполне «работает» в обычных жизненных условиях и даже в обычной астрономии — скажем, при определении орбит спутников. Но как только речь заходит о поведении ускоренных частиц, например в синхротронах, оказывается, что для управления такими процессами необходимо учитывать релятивистское приращение массы.

В теории Эйнштейна понятия пространства и времени перемешаны в такой степени, что сама по себе концепция иногда ка-

жется лишенной смысла. По Эйнштейну, Вселенная имеет четыре координаты, одна из которых — временная (но их свойства отличаются от свойств классических пространственных координат). Такую четырехмерную релятивистскую Вселенную часто определяют как «пространство—время». Первым этот термин ввел в обиход один из учителей Эйнштейна, немецкий физик, выходец из России, Г. Минковский в 1907 году.

С этим странным симбиозом времени и пространства связан один из наиболее известных и загадочных парадоксов теории относительности, а именно замедление хода часов. Согласно теории относительности, часы, установленные на движущемся объекте, начинают «отставать» от таких же часов, остающихся в состоянии покоя, и тем больше, чем выше скорость этого объекта. При обычных скоростях такой эффект ничтожно мал, но, скажем, при скорости 163 000 мили/с стоящему наблюдателю покажется, что за две секунды их стрелка передвигается всего на одну секунду. А при скорости равной скорости света часы, на его взгляд, вообще остановятся.

Этот временной эффект психологически выглядит еще более невероятным, чем изменение длины и веса. Если объект сначала сжимается наполовину и одновременно удваивает свой вес, возвращаясь затем к прежним размерам и массе, то временные изменения не столь иллюстративны.

Однако время — категория совокупная. Если наблюдателю на нашей планете кажется, что часы на планете X — по причине ее высокой скорости — идут в два раза медленнее по сравнению с часами на Земле, после того как планеты разминутся, они входят в свой обычный режим, но уже отстав на полчаса! Теперь представим, если бы два космических корабля, пролетевшие один мимо другого со скоростью 163 000 мили/с и вдвое замедленным ходом времени, встретились снова, то наблюдатели на каждом из них заметили бы, что часы пролетающего мимо космического лайнера отстают на полчаса по сравнению с их собственными. Но ведь невозможно, чтобы отстали часы на обоих кораблях одновременно. В чем тогда дело? Эта головоломка называется часовой парадокс.

По сути, никакого парадокса тут нет. Если два летающих объекта пролетают навстречу друг другу и при этом пассажиры обоих кораблей замечают, что часы на другом отстают, то абсолютно не важно, где это *на самом деле* происходит, поскольку корабли расходятся навсегда. Их часы уже никогда не смогут встретиться в одно время и в одной и той же точке пространства, чтобы сравнить показания. Поэтому говорить о часовом парадоксе просто бессмысленно.

Но представим себе, что эти два объекта все-таки еще раз встретились, так что показания часов *можно* сравнить. Чтобы такое событие стало возможным, необходимо соблюдение одно-

го дополнительного условия: один из кораблей должен ускориться. Положим, корабль *B* выполнил следующий маневр: замедлил ход, по пологой траектории развернулся в сторону корабля *A*, а затем совершил ускорение, чтобы снова встретиться со своим «визави». При этом пассажиры корабля *B* могут считать, что они оставались на месте, а маневр совершил корабль *A*. Если бы Вселенная исчерпывалась этими двумя объектами, то, учитывая симметричность этих событий, часовой парадокс действительно должен иметь место.

Однако во Вселенной, помимо космических лайнеров *A* и *B*, есть и другие объекты, что сразу снимает условие симметричности. Когда *B* совершает ускорение, он ускоряется не только относительно *A*, но и всей остальной Вселенной. При выборе на *B* системы отсчета придется учесть поведение не только *A*, но и всех остальных космических объектов без исключения. В таких обстоятельствах часы будут отставать именно на их корабле, но никак не на *A*.

Приведенное выше рассуждение представляет очевидную важность для космических путешествий. Если покидающие Землю космонавты разгонятся на своем космолете почти до скорости света, время на их корабле будет идти намного медленней, чем на Земле. Когда они возвратятся назад, им покажется, что прошло несколько недель, а на самом деле на Земле пройдет несколько столетий. Если ход времени и вправду замедляется, то за время жизни человек способен достичь самых удаленных планет. Но еще на старте ему придется попрощаться с людьми своего поколения. Он возвратится в мир будущего.

Специальная теория относительности не затрагивает такие аспекты, как ускорение или гравитация. Эти вопросы изложены Эйнштейном в работе «Общая теория относительности», опубликованной в 1915 году. Гравитация определяется скорее как неотъемлемое свойство пространства, а не просто как сила, действующая между телами. Благодаря присутствию материи пространство искривляется, а тела перемещаются в этом пространстве по линиям наименьшего сопротивления. Сколь бы странной ни казалась эта идея Эйнштейна, с ее помощью удастся объяснить некоторые вещи, которые классической теории притяжения оказались не под силу.

Величайшим триумфом ньютоновской классической механики стал 1846 год. У планеты Уран, открытой в 1781 году, была не совсем правильная гелиоцентрическая орбита. Полувековые наблюдения окончательно убедили астрономов, что это действительно так; в результате появилось предположение, что еще неот-

крытая планета влияет на орбиту Урана. Английский астроном Д. Адамс и его французский коллега У. Леверье рассчитали положение и орбиту этой гипотетической планеты с помощью теории Ньютона. А в 1846 году немецкий астроном И. Галле, наблюдая в телескоп за участком неба, который указал Леверье, обнаружил неизвестную планету, получившую название Нептун.

Долгое время казалось, что закон притяжения, открытый Ньютоном, незыблем и не нуждается в поправках. Но имелась одна неясность в движении Меркурия, чье максимальное приближение к Солнцу (*перигелий*) менялось с каждым циклом обращения. В течение целого планетарного «года» положение этой точки ни разу не повторилось. Астрономы сумели определить, что это явление вызвано возмущением (или *пертурбацией*) его орбиты какими-то соседними объектами.

На заре открытия закона гравитации у многих ученых даже создавалось ощущение, что такие пертурбации, возникающие в связи с влиянием соседних планет друг на друга, способны нарушить стройный механизм Солнечной системы. Однако в первые десятилетия XIX века французский астроном П. Лаплас показал, что Солнечная система не является столь хрупкой и неустойчивой, как поначалу казалось. Все наблюдаемые возмущения носят циклический характер, а сами отклонения орбит никогда не превышают допустимых пределов. Поэтому в длительной перспективе Солнечная система вполне стабильна; астрономы же должны просто учитывать эти пертурбации в своих расчетах.

Но в случае с Меркурием все оказалось не так просто. После того как были учтены все пертурбации, оставался необъясненным постоянно наблюдаемый сдвиг перигелия его орбиты на угол 43 секунды за столетие. Это смещение, обнаруженное Леверье в 1845 году, не так уж и велико: за 4000 лет оно составляет величину, не превышающую ширину Луны. Но этот факт насторожил астрономов.

Леверье предположил, что такое отклонение вызвано небольшой неизвестной планетой, движущейся по более близкой к Солнцу орбите. Несколько десятилетий астрономы упорно искали эту предсказанную планету (получившую имя Вулкан); печатались сообщения о ее открытии. Но все они оказывались мистификациями; наконец, возобладало мнение, что никакого Вулкана просто не существует.

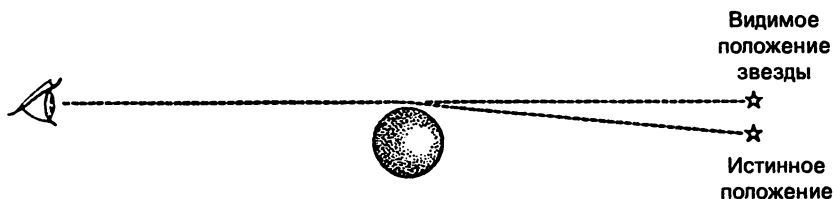
Только общая теория относительности дала аргументированный ответ на этот вопрос. Как выяснилось, перигелии некоторых вращающихся по орбите тел претерпевают смещение, которое не согласуется с законом Ньютона. Когда были выполнены расчеты на базе теории относительности для орбиты Меркурия, они в точности совпали с наблюдаемыми результатами. У планет, которые удалены от Солнца дальше Меркурия, величины подобных сдвигов перигелия намного меньше и практически незначимы.

Так, в 1960 году удалось рассчитать сдвиг перигелия орбиты Венеры, который составил всего около 8 секунд за столетие, полностью совпав с расчетами по теории Эйнштейна.

Еще большее впечатление произвели два новых неожиданных явления, которые смогла предсказать только теория Эйнштейна. Во-первых, Эйнштейн утверждал, что сильные гравитационные поля способны замедлить колебания атомов. И предсказанное замедление было экспериментально подтверждено сдвигом спектральных линий в длинноволновую область (*сдвиг Эйнштейна*). Пытаясь отыскать свидетельство таких мощных гравитационных полей во Вселенной, астрономы обратили внимание на *белых карликов*. Изучая спектры этих необычных космических образований, они обнаружили предсказанный теорией сдвиг линий.

Доказательство второго явления, предсказанного теорией Эйнштейна, носило еще более интригующий характер. По его расчетам выходило, что световые лучи под действием гравитационного поля должны отклоняться. Эйнштейн подсчитал, что луч света, излучаемый солнечной поверхностью, изгибается под углом 1,75 секунды. Но как это проверить? Если расположение звезд за краем Солнца во время солнечного затмения будет отличаться от обычного состояния (когда между ними и Землей нет Солнца), то это смещение и будет искомым сдвигом по Эйнштейну. Поскольку автор опубликовал свою общую теорию относительности в 1915 году, то ее экспериментальной проверки пришлось ждать до окончания Первой мировой войны. В 1919 году Королевское астрономическое общество Великобритании организовало с этой целью экспедицию для наблюдения солнечного затмения на острова Принсипи, небольшую португальскую колонию в Западной Африке. Как показали наблюдения, видимое положение звезд в самом деле менялось, и Эйнштейн снова оказался прав.

Аналогично описанной выше ситуации — если позади одной из звезд располагается другая, свет от нее будет искажаться таким образом, что ее кажущиеся размеры будут больше реальных. А близкая к нам звезда будет играть роль своего рода «гравитационной линзы». К сожалению, кажущийся размер звезд столь невелик, что затмение удаленного светила более близкой звездой



Гравитационное искажение светового луча, постулированное общей теорией относительности Эйнштейна

(если наблюдать с Земли) случается чрезвычайно редко, хотя некоторые астрономы считают, что необычные свойства квазаров во многом объясняются влиянием именно таких гравитационных линз.

Все три грандиозные победы общей теории относительности связаны с астрономией. Поэтому ученые продолжали упорно изыскивать варианты лабораторной проверки выводов Эйнштейна. Коренной прорыв в этом направлении произошел в 1953 году, когда немецкий физик Р. Мёссбауэр сумел показать, что в определенных условиях кристаллы излучают гамма-лучи очень узкого диапазона волн. Обычно в результате испускания гамма-квантов атом отскакивает в противоположном направлении, поэтому линии в наблюдаемых гамма-спектрах получают размытыми. Но при определенных условиях кристаллы действуют синхронно, как единичный атом, а испускаемые ими гамма-кванты имеют одинаковую энергию. Такие монохроматические лучи эффективно поглощаются кристаллом, сходным с тем, который их излучает. Но если гамма-квант имеет энергию хотя бы слегка отличную от той, что обычно излучает этот кристалл, он никогда не поглотится. Это явление получило название *мёссбауэровский эффект*.

Если такие гамма-лучи направить вниз, в направлении сил земного притяжения, то, согласно теории относительности, их энергия должна возрасти, а сами лучи стать короче. Уже через несколько сот метров падения гамма-кванты накопят энергию, достаточную для сокращения длины волны настолько, что кристалл перестанет их поглощать.

Более того, если гамма-излучающий кристалл по ходу процесса перемещается, то длина волны гамма-квантов растет в соответствии с доплеровским эффектом. Скорость перемещения кристалла можно подобрать таким образом, чтобы точно компенсировать гравитационный эффект падающих гамма-квантов, которые в результате снова будут поглощаться кристаллом.

Многочисленные опыты с мёссбауэровским эффектом, проведенные в 1960-х годах, позволили с чрезвычайно высокой точностью подтвердить теоретические выводы, а сам Мёссбауэр удостоен Нобелевской премии по физике в 1961 году.

Но, несмотря на столь значительные успехи, отношение к общей теории относительности оставалось довольно прохладным. В 1961 году американский физик Р. Дик предложил более развернутую концепцию, получившую название скалярно-тензорная теория, которая рассматривает гравитацию не в качестве геометрического эффекта, как в теории Эйнштейна, а в форме комбинации двух полей с различными свойствами. При этом выводы обеих теорий были настолько схожи между собой, что сами подходы казались неразличимыми. Однако летом 1966 года, измерив с помощью чрезвычайно точной методики степень шарообразности Солнца, Дик установил, что наше светило слегка сплюснуто

на полюсах. Но величина этой сплюснутости объясняла лишь 8 процентов из наблюдаемого смещения перигелия Меркурия, что расходилось с выводами общей теории относительности. А вот расчеты самого Дика в данном случае получили достаточно хорошее подтверждение.

С другой стороны, хотя обе теории предсказывают, что световые (или радио-) волны должны замедляться при прохождении рядом с массивными объектами, но дают разные величины таких изменений. В 1970 году был проведен эксперимент по улавливанию радиосигналов, отраженных от различных планет Солнечной системы, когда те находились за Солнцем (если смотреть с Земли) на известном наблюдателям расстоянии. По времени возвращения этих радиосигналов определили степень их замедления в результате прохождения рядом с Солнцем. Хотя опубликованные затем результаты оказались ближе к предсказанным Эйнштейном, чем к расчетам Дика, но окончательно этот вопрос так и не решен.

Тепло

До сих пор в этой главе мы обходили стороной очень важное явление, которое обычно сопровождает свет в нашей повседневной жизни. Почти любой светящийся объект — от звезд до свечи — наряду со светом излучает и тепло.

Долгое время количественных измерений тепла не проводили. Обычно человек ограничивался простой констатацией факта: «Горячо!», «Холодно!» или «Здесь теплее, чем там!». Для количественной оценки тепла прежде всего нужно было выбрать параметр, изменяющийся равномерно с ростом температуры. Одним из таких процессов является расширение веществ при нагревании и сжатие при охлаждении.

Первым это явление на практике использовал Г. Галилей. В 1603 году он поместил стеклянную трубку, заполненную горячим воздухом и запаянную с одного конца, в сосуд с водой. По мере охлаждения воздух в трубке сжимался и трубка заполнялась водой; так появился первый термометр (от греческого слова «измеряющий тепло»). С ростом комнатной температуры воздух в трубке расширялся, вытесняя воду и сдвигая ее уровень. Главная проблема заключалась в том, что трубка находилась в открытом водном бассейне, который подвергался переменному атмосферному давлению. Поэтому даже при постоянной температуре уровень воды в трубке колебался, что мешало точным измерениям. Тем не менее этот термометр стал первым значительным научным прибором, выполненным из стекла.

В 1654 году герцог Тосканы Фердинанд II усовершенствовал термометр, добившись независимости от атмосферного давления.

Для этого он поместил жидкость в запаянную с двух сторон трубку с шариком на конце. А в качестве указателя температуры использовалась сама окрашенная жидкость, объем которой по мере нагрева или охлаждения изменялся; благодаря достаточному по размеру резервуару с жидкостью и соединенному с ним узкому каналу даже небольшие изменения объема теперь стали хорошо заметны.

В то же время этой проблемой много занимался и английский физик Р. Бойль, который первым обнаружил, что человеческое тело поддерживает постоянную температуру, которая заметно выше обычной комнатной температуры. Другие исследователи установили, что те или иные физические явления всегда происходят при определенной температуре. Например, в конце XVII столетия уже знали температуру замерзания и кипения воды.

Первыми жидкостями, которые использовали в термометрах, были вода и спирт. Но поскольку вода замерзала при относительно высокой температуре, а спирт, напротив, слишком быстро закипал, французский физик Г. Амонтон предложил использовать ртуть. В его приборе, аналогично термометру Галилея, расширение и сжатие воздуха вызывало подъем и спуск ртутного столбика.

В 1714 году немецкий физик Г. Фаренгейт, наконец, объединил конструкции тосканского герцога и французского физика, наполнив трубку ртутью и приняв ее уровень за указатель температуры. В качестве нуля он взял минимальную температуру, которой ему удалось добиться в лабораторных условиях, смешивая снег с солью. Далее, температуре плавления чистого льда он присвоил значение 32, а температуре кипения воды 212. Такой выбор давал два важных преимущества. Во-первых, температурный интервал между точками замерзания и кипения воды составил ровно 180° , что было удобно с точки зрения привычного геометрического представления об этой единице. (Ведь именно столько градусов в полукруге.) Кроме того, нормальная температура человеческого тела по шкале Фаренгейта равнялась почти 100° (точнее, $98,6^{\circ}$).

Если температура у человека поднимается хотя бы на один градус по сравнению с нормальной, считается, что он не вполне здоров. В 1858 году немецкий врач К. Вундерлих ввел процедуру регулярного измерения температуры больных в медицинскую практику как показатель течения болезни. В следующем десятилетии его английский коллега Т. Оллбутт изобрел клинический термометр, в котором точным индикатором температуры служил столбик ртути, фиксируя температуру в момент измерения. До сих пор шкала Фаренгейта используется в США и Великобритании.

Ранее, в 1742 году шведский астроном А. Цельсий предложил другую температурную шкалу. За две главные точки отсчета в ней взяты температура замерзания воды 0° и температура кипе-

ния 100°. В 1948 году на одной из научных конференций этой шкале было присвоено имя автора *шкала Цельсия*, а сами температурные значения стали называть *градусами Цельсия*. Для этого также используется символ °C. В настоящее время именно эта шкала принята в большинстве цивилизованных стран и в международной системе измерений.

Температура характеризует интенсивность нагрева, но не количество тепла. Тепло всегда переходит от тела с более высокой температурой к более холодному телу до тех пор, пока их температуры не сравняются, аналогично уровню жидкости в сообщающихся сосудах. Этот процесс протекает независимо от количества тепла в каждом из этих тел. И хотя в ванне, наполненной теплой водой, содержание тепла намного выше, чем в зажженной рядом с ней спичке, но тепло все равно будет перемещаться от маленькой спички к воде, а не наоборот.

Дж. Блэк, проводивший важные эксперименты с газами (см. главу 4), был первым, кто четко разделил понятия температуры и тепла. В 1760 году он сообщил, что температура разных веществ увеличивается в разной степени при получении одного и того же количества тепла. Для того чтобы поднять температуру одного грамма железа на один градус Цельсия, требуется в 3 раза больше тепла, чем для такого же весового количества свинца. А для бериллия тепла требуется в 3 раза больше, чем для железа.

Больше того, Блэк показал, что тепло переходит к телу даже без всякого повышения температуры. Так, лед постепенно тает под действием тепла, но при этом его температура остается постоянной (0 °C). То же самое происходит при кипении воды, когда постоянно сохраняется температура 100 °C. Тепло в этом случае лишь вызывает образование пара, который улетучивается, но температура самой воды остается постоянной.

Создание парового двигателя (см. главу 8), которое произошло примерно в то же время, что и опыты Блэка, увеличило интерес ученых к теплу и температуре. Они начали глубже размышлять над природой теплоты, точно так же, как раньше ломали голову над природой света.

Как и в случае света, имелось два основных подхода к проблеме тепла. Одна теория утверждала, что теплота — это материальная субстанция, которая может переходить от одного тела к другому. Эту теорию называли теплородной. Согласно таким воззрениям, когда деревянное полено сгорало в костре, теплород переходил из дерева сначала в пламя костра, а затем в чайник, висевший над огнем. Когда вода насыщалась теплородом, чайник начинал кипеть с выделением пара.

Однако в конце XVIII века теплородная теория была поставлена под сомнение в результате двух важных наблюдений, которые

указывали на то, что тепло является формой вибрации. Один из этих опытов провел американский физик и авантюрист Б. Томпсон, бежавший из США после революции и затем много странствовавший по Европе. Наблюдая за высверливанием отверстия в стволе артиллерийского орудия во время своего пребывания в Германии, он заметил, что этот процесс сопровождается большим выделением тепла. По его расчетам, этим теплом можно было за 3 часа вскипятить почти 7 литров воды. Но откуда тут было взяться теплороду? Томпсон решил, что все дело в увеличении интенсивности колебаний, которое было вызвано сверлением ствола.

На следующий год английский химик Х. Дэви поставил еще более важный опыт. Плотно сжав два куска льда, он потер их друг о друга, но не руками, а с помощью механического приспособления, поэтому теплород в лед никак не мог проникнуть. За счет трения ему удалось расплавить оба куска (при этом окружающая температура поддерживалась на уровне 0 °С). Но, несмотря на всю очевидность выводов этих экспериментов, ложная теплородная теория дожила до середины XIX века.

Тем не менее, хотя природа тепла толковалась долгое время с ошибочных позиций, ученые определили ряд его свойств, аналогично тому, как физики обнаружили явления, связанные с отражением и преломлением световых лучей, еще до раскрытия истинной природы света. Французы Ж. Фурье и Н. Карно, изучая процесс передачи тепла, сделали несколько краеугольных открытий. Карно, по сути дела, можно считать основателем *термодинамики* (по-гречески «тепло в движении»). Он сделал для работы паровых двигателей надежное математическое обоснование.

Свои работы Карно выполнил в 1820-х годах. С 1840-х годов физики вплотную занялись поисками ответов на ключевые вопросы: все ли тепло, перешедшее в форму пара, можно использовать на механическое перемещение поршня? имеются ли какие-то ограничения, связанные с конверсией тепла в механическую работу? как обстоит дело с обратным процессом — переходом работы в тепло?

Джоуль потратил 35 лет, изучая превращение различных видов работы в тепло, проводя высокоточные измерения. Он измерил количество тепла, выделяющегося при прохождении электрического тока. Джоуль нагревал воду и ртуть, перемешивая их механической мешалкой или прогоняя воду через узкий трубопровод. Он сумел нагреть воздух путем сжатия и т. д. И каждый раз ученый проводил точные расчеты, каков объем выполненной работы и сколько при этом в системе выделилось тепла. Он установил, что данное количество работы любого вида всегда производит строго определенное количество тепла, которое получило название *механический эквивалент тепла*.

Поскольку тепло можно превратить в работу, то его следует рассматривать как форму *энергии* (по-гречески «производящая

работу»). Электричество, магнетизм, свет и движение можно использовать для выполнения работы, поэтому все они являются видами энергии. Да и сама работа, превращенная в тепло, также является энергией.

Все эти факты подтвердили то, о чем подозревали со времени Ньютона: энергия является сохраняющейся субстанцией и не может быть ни создана, ни уничтожена. Так, движущееся тело обладает *кинетической энергией* (этот термин, означающий энергия движения, впервые предложил лорд Кельвин в 1856 году). По мере того как тело, брошенное вверх, преодолевает силу притяжения, его движение постепенно замедляется. При этом его кинетическая энергия снижается до нуля, переходя в другую форму, определяемую положением тела относительно нижней точки его полета и которую шотландский физик В. Ранкин в 1853 году назвал *потенциальной энергией*. Оказалось, что потенциальная энергия тела вкупе с кинетической (механическая энергия) были в процессе движения практически постоянной величиной. Это явление получило название *сохранение механической энергии*. Однако механическая энергия сохранялась не в полной мере. Наблюдались потери за счет трения, сопротивления воздуха и т. д.

Упомянутые выше опыты Джоуля позволили установить, что в истинном виде закон сохранения соблюдается, если принять во внимание, что в процессе преодоления сил трения и сопротивления воздуха механическая энергия превращается в тепло. Учет выделяющегося при работе тепла показал, что никакой новой энергии не создается и она никуда не исчезает. Первым четко сформулировал это положение, назвав его законом сохранения энергии, Г. фон Гельмгольц в 1847 году. Смысл этого закона в том, что энергия может превращаться из одной формы в другую, но ее нельзя создать заново или окончательно уничтожить. И когда какая-то часть энергии исчезает в одном месте, ее эквивалентное количество обязательно появляется в другом месте. Другое название этого принципиального правила первый закон термодинамики. Он остается фундаментом всей современной физики, который не может поколебать никакая теория относительности.

Однако, хотя любой вид работы можно полностью превратить в тепло, обратное заключение будет неверным. Когда работа совершается за счет тепла, часть этого тепла теряется в пространстве. При работе паровой машины теплота пара переходит в работу лишь до того момента, пока его температура не снизится до температуры окружающей среды. Но даже в рабочем диапазоне температур часть тепла тратится на нагрев самого двигателя и рассеивается в окружающем пространстве за счет трения поршня о стенки цилиндра и т. п.

В любом процессе превращения энергии, например электрического тока в свет или энергии магнитного поля в энергию дви-

жения, часть энергии покидает систему. Однако с точки зрения первого закона термодинамики тут нет никакого противоречия. Просто часть энергии рассеивается в пространстве.

Способность любой системы выполнять ту или иную работу характеризуется ее *свободной энергией*. Та часть энергии, которая неизбежно тратится на бесполезный нагрев, определяется понятием *энтропия*; этот термин впервые ввел в научный обиход немецкий физик Р. Клаузиус.

Клаузиус заметил, что в любом процессе перехода энергии обязательно присутствуют потери, поэтому энтропия Вселенной постоянно растет. Это явление роста энтропии называется вторым законом термодинамики. Иногда его еще называют тепловой смертью Вселенной. К счастью, общее количество полезной энергии (за счет звезд, которые медленно «затухают») остается столь огромным, что ее хватит не на один миллиард лет.

Ясное понимание природы тепла появилось в результате открытия атомного строения материи. Оказалось, что газовые молекулы находятся в непрерывном движении, соударяясь друг с другом и стенками сосуда. Первым исследователем, попытавшимся объяснить свойства газов с этой точки зрения в 1738 году, стал швейцарский математик Даниель Бернулли, но он сильно опередил свое время. В середине XIX века Максвелл и Больцман (см. главу 4) обосновали кинетическую теорию газов. Эта теория показала, что тепло определяется движением молекул. В результате теплород был похоронен, и стало понятно, что тепло связано с интенсивностью движения молекул в газовой и жидкой средах или же беспорядочной «раскачкой» молекул в твердых веществах.

Когда твердое вещество нагревают до точки плавления, его молекулы приобретают энергию, достаточную, чтобы разорвать межмолекулярные связи, и вещество плавится, переходя в жидкое состояние. Чем прочнее связи между соседними молекулами твердого вещества, тем больше нужно тепла для разрыва этих связей. Это означает, что у вещества высокая температура плавления.

В жидкостях молекулы свободно движутся: одна мимо другой. При нагревании жидкого вещества движение молекул возрастает и достигает такого момента, когда они приобретают энергию, достаточную, чтобы покинуть жидкую среду. В результате жидкость закипает. И в данном случае температура кипения тем выше, чем прочнее межмолекулярные силы.

В ходе превращения твердого вещества в жидкое вся тепловая энергия уходит на разрыв межмолекулярных связей. Вот почему при этом — несмотря на поглощение тепла — температура остается постоянной. То же самое происходит и при кипении.

Теперь легко понять разницу между теплотой и температурой. Теплота характеризует общую энергию, определяемую суммарным

движением молекул данного количества вещества. А температура представляет собой среднюю энергию движения одной молекулы того же вещества. Так, один литр воды с температурой 60°C содержит в 2 раза больше тепла, чем пол-литра воды той же температуры (за счет в 2 раза большего числа молекул), а равенство температуры означает, что средняя энергия движения молекул воды в обоих случаях одинакова.

Энергия скрыта и в самой структуре химических соединений, то есть в тех связях, за счет которых удерживаются атомы и молекулы веществ. Если разорвать эти связи и создать новые, требующие меньше энергии, то избыток энергии выделится в форме тепла или света. Иногда процесс выделения энергии столь быстр, что протекает в форме взрыва.

Можно количественно оценить химическую энергию того или иного вещества и определить, сколько выделится энергии в результате реакции. Например, при сгорании угля происходит разрыв связей между атомами углерода в угле и распад на атомы молекул кислорода, которые затем соединяются, образуя двуокись углерода. Поскольку энергия связи во вновь образовавшемся соединении (CO_2) меньше суммарной энергии связи двух исходных веществ, освободившаяся энергия выделяется в виде тепла и света.

В 1870-х годах американский физик Дж. Гиббс так подробно изложил теоретические основы *химической термодинамики*, что эта область физической химии до сих пор занимает видное место в науке.

Истинное значение объемного труда, в котором Гиббс представил убедительные доводы, не сразу было признано его американскими коллегами, а сама работа была опубликована лишь спустя несколько лет. Но даже после публикации с его теорией практически никто не был знаком, пока В. Оствальд, нашедший эту работу в 1883 году, не перевел на немецкий язык, показывая ее значение для науки.

В качестве примера важности работы Гиббса можно привести знаменитое теперь правило фаз, которое связывает строгими соотношениями вещества, присутствующие в равновесной системе в различной физической форме (скажем, твердой и жидкой, в виде не смешивающихся жидкости и пара и т. д.). Достаточно сказать, что правило фаз — основа жизни современной химической промышленности и металлургии.

Масса и энергия

После открытия в 1896 году явления радиоактивности (см. главу 5) возник еще один принципиальный вопрос о природе энергии. Ведь радиоактивные вещества, такие, как уран и торий, испускали частицы, обладавшие невероятной энергией. Кроме того,

Мария Кюри обнаружила, что радий непрерывно излучает большое количество тепла: один грамм радия дает около 150 калорий в час, и этот процесс не прекращается ни на секунду, продолжаясь десятилетиями. Самые мощные химические реакции не дают и миллионной доли той энергии, которая сопровождает распад радия. Но что не менее удивительно, этот распад — в отличие от химических процессов — не зависит от температуры, при которой он протекает, продолжаясь в одном режиме, как в условиях жидкого водорода, так и при комнатной температуре!

Было очевидно, что это абсолютно новый вид энергии, не похожий ни на один из ранее известных. К счастью, ждать объяснений физикам пришлось недолго. Снова, как и раньше, на этот вопрос нашелся ответ в общей теории относительности.

Найденное Эйнштейном математическое описание энергии показывало, что масса является одной из форм энергии: ее очень концентрированной формой, так что крошечная доля материи может соответствовать огромной энергии.

Теория Эйнштейна связала массу с энергией простой и хорошо всем известной формулой:

$$E = mc^2$$

Здесь E обозначает энергию (в эргах), m — массу (в граммах), а c — скорость света (в сантиметрах в секунду).

Поскольку скорость света примерно 3×10^{10} см/с, $c^2 = 9 \times 10^{20}$, то один грамм массы эквивалентен энергии 900 000 000 000 000 000 млрд эрг. Сам по себе эрг — небольшая единица энергии, которой трудно подыскать аналогию в повседневной практике, но масштаб приведенной величины легко представим, если узнать, что энергии одного грамма вещества хватит для бесперебойной работы 1000-ваттной лампы в течение 2850 лет. Что также эквивалентно количеству тепла, которое образуется при сгорании 2000 тонн бензина.

Уравнение Эйнштейна разрушило один из самых незыблемых и «неприкасаемых» законов сохранения. Провозглашенный еще в XVIII веке закон сохранения массы утверждал, что материя не возникает из ничего и не исчезает бесследно. Но фактически в ходе любой химической реакции, сопровождающейся выделением энергии, небольшая часть массы превращается в энергию, просто для этого требуется очень точное взвешивание исходных и конечных веществ. Но потери массы в результате обычных химических реакций очень малы, у химиков XIX века не было нужных методов измерения, поэтому не удавалось зафиксировать изменение массы. Физики же столкнулись с явлением совсем иного масштаба — ядерными реакциями и радиоактивным распадом, а не с простыми химическими превращениями, как при сгорании угля. В ходе ядерных реакций выделяются такие количества энергии, что потери массы становятся вполне ощутимыми.

Постулировав взаимообмен масс и энергии, Эйнштейн свел воедино законы сохранения этих двух субстанций и вывел закон сохранения массы-энергии. Первый закон термодинамики не просто выдержал этот удар, он был дополнен и обрел еще большую устойчивость.

Превращение массы в энергию было подтверждено экспериментально работами Ф. Астона, который использовал для этой цели масс-спектрограф. Он с высокой точностью измерил массу атомных ядер по величине их отклонения в магнитном поле. С помощью высокочувствительной модели масс-спектрографа в 1925 году ученый установил, что массы атомных ядер и суммарные массы входящих в их состав протонов и нейтронов несколько различаются.

О массе протонов и нейтронов следует сказать особо. В течение целого столетия массы атомов и субатомных частиц, как правило, измеряли на основе атомного веса кислорода, равного 16,000000 (см. главу 5). Однако в 1929 году выяснилось, что существует три изотопа кислорода с массовыми числами 16, 17 и 18. Таким образом, истинный атомный вес кислорода является усредненным из этих трех изотопов с учетом их процентного содержания в природном кислороде.

Наиболее распространенным оказался кислород-16, чья доля среди остальных кислородных изотопов составляет 99,759 процента. Это значит, что, если оставить атомный вес природного кислорода равным 16 000 000 единиц, то масса изотопа кислорода-16 будет слегка *«не дотягивать»* до 16. (Вместе с тем массы кислорода-17 и 18 окажутся выше 16.) Но целое поколение химиков спокойно мирилось с этим нелепым положением, и они продолжали пользоваться уже привычной *химической шкалой атомных весов*.

А вот реакция физиков была иной. Они присвоили изотопу кислорода-16 массовое число 16 000 000, а массы всех других элементов пересчитали на его основе. В результате появилась *физическая шкала атомных весов*, согласно которой атомный вес кислорода равен 16,0044. В целом все элементы по новой шкале стали легче примерно на 0,027 процента по сравнению с прежней шкалой.

Период разногласий закончился в 1961 году, когда за единицу атомных весов была взята величина, равная $1/12$ изотопа углерода-12. Новая единица позволила сохранить атомные веса почти всех элементов на том же уровне, что и в старой химической шкале. Так, атомный вес кислорода по «углеродной шкале» составил 15,9994.

Теперь, воспользовавшись новой шкалой, вернемся к вопросу о реальной массе атомных ядер. Начнем с ядра углерода-12,

которое состоит из 6 протонов и 6 нейтронов. Масс-спектрографические измерения показали, что масса протона равняется 1,007825, а нейтрона — 1,008665. Тогда общая масса протонов будет 6,046950, а 6 нейтронов составят в сумме 6,051990. Суммарная масса ядра углерода-12 должна равняться 12,104940, в то время как по определению она составляет 12 000 000. Куда же девались недостающие 0,1049407?

Эта исчезнувшая масса называется *дефект массы*. Дефект массы, деленный на массовое число, дает дефект массы в расчете на один нуклон, или *коэффициент упаковки*. В действительности масса никуда не исчезла, она просто превратилась в энергию в соответствии с уравнением Эйнштейна. Поэтому дефект массы одновременно определяет энергию связи ядра. Для расщепления ядра на свободные протоны и нейтроны необходима энергия равная энергии связи, и суммарная масса нуклонов возрастет по сравнению с исходным ядром на эквивалентную величину.

Астон, определивший коэффициент упаковки многих атомных ядер, установил, что эта величина быстро растет от водорода до железа, а затем медленно уменьшается до самого конца периодической таблицы. Значит, энергия связи ядер выше в элементах средней части периодической таблицы. Поэтому превращение тяжелых элементов в средние по массе элементы должно сопровождаться выделением энергии.

Для примера возьмем уран-238. Его ядро последовательно распадается до свинца-206. По ходу этого ступенчатого процесса испускается 8 альфа-частиц. (Кроме этого, вылетают и бета-частицы, но из-за небольшого веса ими можно пренебречь.) Точная масса свинца-206 составляет 205,9745, а суммарная масса всех альфа-частиц равна 32,0208. Все вместе дает величину 237,9953. Однако начальная масса урана-238 238,0506. Таким образом, величина потерянной массы 0,0553. Эта потеря массы эквивалентна энергии, которая выделяется при распаде урана.

Если же уран распадается на еще более легкие атомы, как это происходит в реакции ядерного расщепления, то выделяется больше энергии. Еще больший дефект массы приводит в процессе превращения водорода в гелий, как это происходит в ходе ядерных реакций в звездах, к освобождению фантастической энергии.

Постепенно физики стали рассматривать масс-энергетический эквивалент в качестве самого надежного расчетного параметра. Например, когда в 1934 году был открыт позитрон, было установлено, что в результате его аннигиляции с электроном образуются два гамма-кванта, энергия которых в точности соответствовала массе исходных частиц. Более того, как впервые обнаружил Блэккетт, из определенного количества энергии можно получить строго эквивалентное количество массы. В ходе многочисленных экспериментов он заметил, что в определенных условиях гамма-луч достаточной энергии внезапно исчезал, оставляя вместо себя пару

позитрон—электрон, родившуюся из чистой энергии. При наличии более мощного излучения — например, космических лучей или потоков, рождающихся в протонных синхротронах (см. главу 6), — могут образоваться и более массивные частицы, такие, как мезоны или антипротоны.

Даже при обнаружении бета-частиц с меньшей, по сравнению с расчетной, энергией физики не пытались подправить уравнение Эйнштейна, а учли образование нейтрино, что помогло отыскать в общем балансе недостающие энергетические затраты (см. главу 6).

Но пожалуй, трудно придумать более надежное доказательство неразрывности связи массы и энергии, чем атомный взрыв.

Волны и частицы

Начиная с 20-х годов XIX века дуализм как мировоззрение завоевал главенствующее положение среди физиков. Планк теоретически обосновал, что излучение — это одновременно и волны, и поток частиц. Эйнштейн доказал, что масса и энергия — это две стороны одной монеты, а время и пространство неразделимы. Физики стали искать дуализм в новых областях.

В 1923 году французский физик Л. де Бройль теоретически доказал, что если любое излучение обладает свойствами частиц, то и частицы материи (например, электроны) должны проявлять волновые свойства. Длины волн, ассоциированных с такими частицами, как предсказал ученый, должны быть обратно пропорциональны произведению массы на скорость (импульсу частицы). По расчетам де Бройля получалось, что длины волн, свойственных электронам, лежат в рентгеновском диапазоне.

Уже в 1927 году эта довольно неожиданная для многих гипотеза получила экспериментальное подтверждение. Американские инженеры К. Дэвиссон и Л. Гермер, сотрудники телефонной лаборатории Белла, бомбардировали электронными пучками мишень из металлического никеля. Совершенно случайно им понадобилось подогреть никелевую пластину, причем в течение долгого времени. В результате никель приобрел крупнокристаллическую структуру, которая оказалась идеальной с точки зрения дифракции, поскольку расстояния между атомами в кристаллической решетке оказались сопоставимы с очень короткими электронными волнами. Было установлено, что проходящие через эти кристаллы электроны вели себя не как частицы, а как волны. На фотопленке, помещенной за мишенью, была зафиксирована интерференционная диаграмма из перемежающихся размытых и ясных полос, словно не от электронов, а от рентгеновских лучей.

Интерференционная картина очень напоминала одну из тех диаграмм, которые за столетие до того были получены Юнгом и

послужили доказательством волновой природы света. Теперь же с их помощью была подтверждена и волновая природа электрона. В результате математической обработки интерференционных полос была вычислена длина волны электрона, оказавшаяся равной $1,65\text{\AA}$ — точно такой, как и предсказывал де Бройль.

В том же году британский физик Дж. Томсон, совершенно независимо и другими методами, также доказал наличие волновых свойств у электрона.

Де Бройль награжден Нобелевской премией по физике за 1929 год, а Дэвиссон и Томсон получили ту же премию в 1937 году.

Это новое и довольно неожиданное проявление дуализма быстро нашло себе применение в микроскопии. Обычные оптические микроскопы непригодны для изучения объектов меньшего размера, сопоставимого с длинами волн видимого света. Изображение такого объекта выглядит в микроскопе размытым, поскольку световые лучи его огибают, на что первым обратил внимание немецкий физик Э. Аббе в 1873 году. (По той же причине радиоволны дают размытые изображения даже самых больших космических тел.) Для микрообъектов нужно использовать более коротковолновое излучение. Так, в обычный микроскоп удастся различить две точки минимальной величины 2×10^{-4} миллиметра, но разрешение ультрафиолетового микроскопа уже в 2 раза выше. Рентгеновские лучи были бы еще лучше, но для них не придумано линз. Проблему удалось решить с помощью коротких волн электронных пучков, которые позволяют получить большое увеличение.

Аналогично тому, как глаз видит масштабированное изображение объекта благодаря увеличению системой оптических линз, так и в случае электронных волн необходимое увеличение и фокусирование микрообъекта достигается с помощью магнитных полей. А поскольку электронные волны намного короче волн обычного света, то разрешающая способность «электронного микроскопа» на несколько порядков выше обычного оптического «мелкоскопа».

Первый и довольно грубый электронный микроскоп (всего с 400-кратным увеличением) был сконструирован в Германии в 1932 году, но первый по-настоящему чувствительный и надежный прибор этого типа появился в Торонтском университете (Канада) в 1937 году. Этот микроскоп, созданный Дж. Хиллером и А. Пребусом, давал увеличение в 7000 раз, в то время как его оптический аналог мог обеспечить в лучшем случае 2000-кратное увеличение. Уже начиная с 1939 года электронные микроскопы стали выпускаться серийно, а Хиллер с сотрудниками вскоре подняли максимальное увеличение до 2×10^6 раз!

Если бы удалось создать «протонный микроскоп», он дал бы куда большее увеличение даже по сравнению с электронным микроскопом, поскольку волны, свойственные протонам, еще короче. По сути, вариантом протонного микроскопа является протонный синхротрон, в котором разогнанные до огромных скоростей

протоны «прошупывают» внутренность атомных ядер. Чем выше скорость протона, тем больше его момент количества движения, а следовательно, короче длина соответствующей волны. Протоны с энергией порядка одного МэВ способны «разглядеть» ядро снаружи, а протоны с энергией 20 МэВ могут «рассмотреть» даже внутреннее устройство ядра. Это еще одна причина, по которой физики настойчиво выжимают все больше и больше электрон-вольт из своих атомных «мельниц», рассчитывая поточнее «разглядеть» самые скрытые детали жизни ядра.

Не стоит особо удивляться, что дуализм проявляется не только в прямом, но и в обратном направлении и что в явлениях, которые принято относить к волновым процессам, обнаруживаются и корпускулярные свойства. Планк и Эйнштейн убедительно показали, что излучение состоит из квантов, которые по своей природе являются частицами. В 1923 году Комптон, который одним из первых продемонстрировал корпускулярную природу космических лучей (см. главу 6), показал, что такие кванты обладают качествами падающих на Землю частиц. Он обнаружил, что рентгеновские лучи — в результате рассеяния материальными объектами — теряют энергию, а их волны становятся длиннее. Этого и следовало ожидать при соударении «излученной частицы» с материальной частицей: ускоренная материальная частица летит вперед, а рентгеновская сворачивает в сторону, теряя энергию. Эффект Комптона позволил экспериментально подтвердить наличие корпускулярно-волнового дуализма.

Кроме исследований, материальные волны послужили для развития важных теоретических воззрений. В частности, они разъяснили некоторые спорные моменты в строении атома.

В 1913 году Нильс Бор создал планетарную модель атома водорода, представив его в виде ядра, вокруг которого по одной из нескольких возможных орбит вращается электрон. Эти орбиты ученый закрепил на жестких позициях. В случае перехода электрона с верхней орбиты на нижнюю он теряет энергию в форме кванта излучения с фиксированной длиной волны; если же электрон захочет перебраться на верхнюю орбиту, ему потребуется поглотить квант энергии строго определенной длины волны. Вот почему атом водорода может поглощать или испускать лишь определенные кванты, которые проявляются в его спектре в виде соответствующих характеристических линий. В течение следующего десятилетия Бор заметно усложнил свою атомную модель, что позволило успешно истолковать спектры различных элементов. За работы в области строения атома датский ученый удостоен Нобелевской премии по физике за 1922 год.

Но Бор не предложил никакого объяснения по поводу жесткой фиксации электронных орбит. Он просто выбрал их такими, чтобы получить правильные результаты при поглощении или испускании атомом энергии.

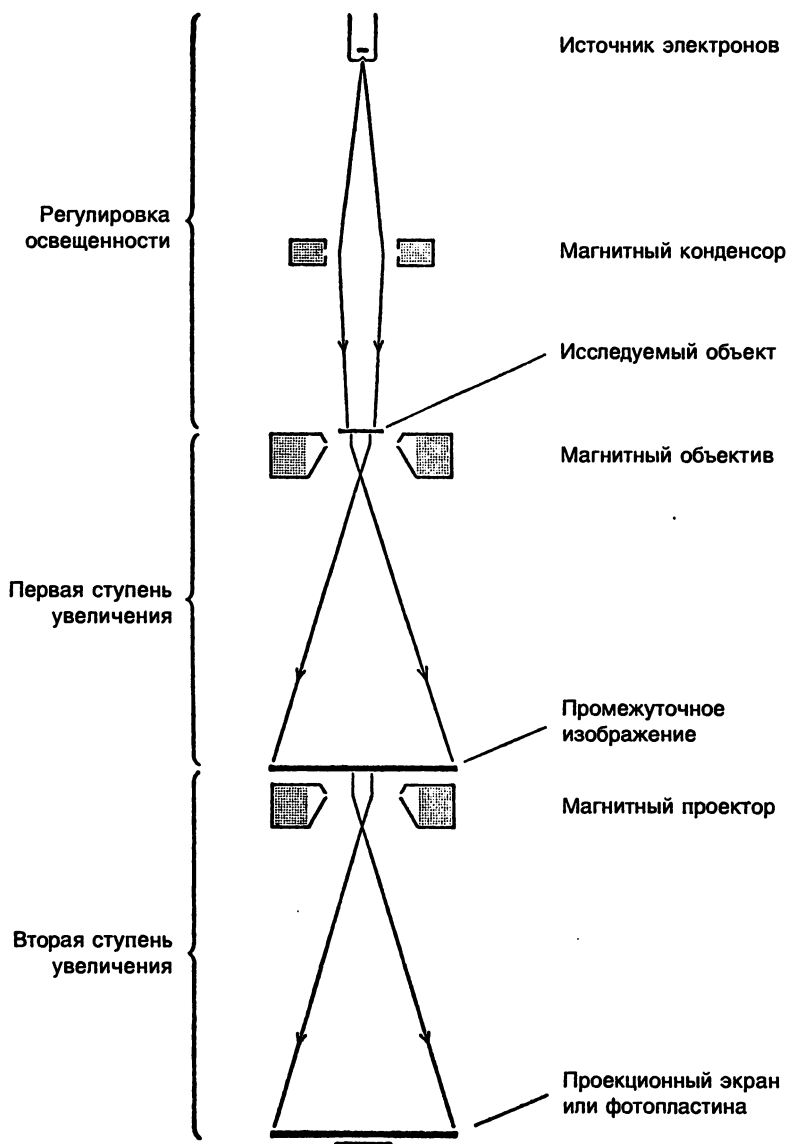


Схема электронного микроскопа. Магнитный конденсор направляет на объект параллельный пучок электронов. Функция магнитного объектива та же, что и у оптической двояковыпуклой линзы, — он обеспечивает увеличение изображения, которое далее еще более увеличивается за счет магнитного проектора. Конечное изображение проецируется на флуоресцентный экран или на фотопластину

В 1926 году немецкий физик Э. Шрёдингер посмотрел на атом с позиции теории де Бройля. Представив электрон как волну, Шрёдингер пришел к выводу, что электрон не вращается вокруг ядра, наподобие планеты вокруг Солнца, а может находиться в любой точке волны, огибающей ядро. При этом один и тот же электрон может присутствовать в различных точках своей орбиты одновременно. Шрёдингер разработал математическое описание атома, названное им *волновой механикой*, или *квантовой механикой*, которая позволяла лучше понять строение атома, чем модель Бора.

Шрёдингер был награжден Нобелевской премией в 1933 году вместе с Дираком, автором теории античастиц (см. главу 6).

А в 1954 году той же премией был награжден и немецкий физик Макс Борн, внесший большой вклад в создание математического аппарата квантовой механики.

В результате электрон стал неопределенной частицей. Вскоре эта неопределенность усилилась. Немецкий физик-теоретик В. Гейзенберг повернул вопрос о природе частиц столь неожиданным образом, что само их существование оказалось под сомнением.

Гейзенберг представил свою собственную модель строения атома. Он отказался от попытки нарисовать картину атома, состоящего из частиц или волн. Ученый считал, что любая попытка провести аналогию между строением атома и окружающим нас миром обречена на провал. Вместо этого он рассчитал энергетические уровни электронных орбит, ограничившись их численными значениями — без каких-либо рисунков или диаграмм. Поскольку Гейзенберг использовал для расчетов математический метод матриц, его система получила название матричная механика.

За вклад в развитие квантовой механики Гейзенберг удостоен Нобелевской премии по физике за 1932 год. Тем не менее матричная механика была намного менее популярна среди физиков, чем волновая механика Шрёдингера, поскольку подход Гейзенберга выглядел слишком абстрактным.

В 1944 году выход из создавшегося положения был найден благодаря американскому физiku Д. фон Н്യюмену, который сумел доказать, что матричная механика и волновая механика математически идентичны. То, что утверждала одна теория, можно было доказать и с помощью другой. Но почему бы тогда не создать менее абстрактную версию? (Однако в 1964 году Дирак высказал сомнение в эквивалентности двух подходов. Он считал, что дело обстоит иначе, отдавая предпочтение идее Гейзенберга и предпочитая матричный подход волновой теории.)

Но вернемся к частицам: Гейзенбергу нужно было описать положение частицы. Как определить, где частица находится в данный момент? Казалось бы, самый очевидный ответ: посмот-

реть на нее. Представим, что у нас есть микроскоп, в который мы можем разглядеть электрон. Но, чтобы его разглядеть, надо направить на него луч света. Однако электрон так мал, что даже единичный световой фотон сдвигает его с места. Таким образом, в самый момент измерения мы сталкиваемся с постоянным перемещением частицы.

С подобным явлением мы сталкиваемся и в повседневной жизни. Измеряя давление воздуха в шинах, мы вынуждены выпустить немного воздуха через клапан, и тем самым давление неизбежно падает — пусть и незначительно. Аналогично, измеряя температуру воды в сосуде с помощью термометра, мы немного сбиваем истинные показания за счет поглощения тепла самим термометром. И таких примеров немало.

В ходе обычных измерений вносимые в систему погрешности столь незначительны, что ими вполне можно пренебречь. Совсем иная ситуация, когда мы пытаемся разглядеть электрон. Потому что в данном случае наш измерительный инструмент, по крайней мере, не меньше самого объекта измерения. Следовательно, на результатах наших измерений неизбежно скажется, причем в решающей степени, влияние самого измерителя. Теоретически мы могли бы полностью остановить электрон и зафиксировать его положение. Но при этом мы не сможем узнать, какова была его скорость. С другой стороны, можно было бы определить его скорость, но тогда мы не узнаем его точное положение в данный момент.

Гейзенберг показал, что не существует метода, с помощью которого можно было бы однозначно зафиксировать положение субатомной частицы и одновременно определить ее скорость. Можно определить либо то, либо другое.

Если дело обстоит так, даже при абсолютном температурном нуле, значит, отсутствие энергии невозможно. Если бы энергия превратилась в нуль, то оставалось бы просто зафиксировать положение частицы, поскольку ее скорость была бы нулевая. Из этого следовало заключить, что всегда остается какая-то «энергия нулевой точки» даже при абсолютном температурном нуле, благодаря которой частица продолжает двигаться, тем самым сохраняя «неопределенность». Именно энергия нулевой точки является причиной пребывания гелия в жидком состоянии даже при абсолютном нуле (см. главу 5).

Согласно принципу неопределенности Гейзенберга, положение и угловой момент электрона не поддаются одновременному определению с абсолютной точностью. Однако, несмотря на невозможность точного определения положения электрона, можно указать *вероятность* его нахождения в определенной точке в любой момент времени. Область пространства, в которой высока вероятность обнаружения электрона, называется *орбиталь*, которую не следует отождествлять с понятием «орбита» в теории Бора. Под

орбитой в теории Бора понимается траектория электрона вокруг ядра. В соответствии с его выкладками энергетический уровень электрона определяется четырьмя «квантовыми числами».

В 1930 году Эйнштейн заметил, что из принципа неопределенности следует, будто невозможно снизить ошибку в определении положения без одновременной потери точности в определении времени. И он решил использовать этот аргумент в качестве отправной точки для опровержения принципа неопределенности, но Бор не согласился с мнением Эйнштейна.

Принцип неопределенности в версии Эйнштейна сыграл очень полезную роль, поскольку он показывал, что в мире фундаментальных частиц закон сохранения энергии мог нарушаться — но на очень краткий миг, и чем больше нарушение, тем короче этот временной интервал. Юкава использовал это замечание для разработки собственной теории пионов (см. главу 6). С его помощью удалось также объяснить некоторые необычные явления в мире субатомных частиц, исходя из того, что в условиях нарушения закона сохранения возможно появления из ничего частиц, которые исчезают еще до того, как их удастся зафиксировать, и которые поэтому называют *виртуальными частицами*. Теория виртуальных частиц была разработана в 1940-х годах тремя физиками: американцами Дж. Швингером и Р. Фейнманном, а также японцем С. Томонагой, которые вместе получили Нобелевскую премию по физике за 1965 год.

Принцип неопределенности сильно повлиял на развитие современной физики и философии. Он напрямую связан с философской проблемой причинности (то есть причинно-следственные связи). Однако в науке судьба этой идеи оказалось иной, чем предполагали. Нередко можно прочесть, что принцип неопределенности показывает принципиальную невозможность получить точные научные ответы на то, что в действительности происходит в окружающем мире, и что все человеческие знания получены лишь благодаря непредсказуемым причудам Вселенной, когда следствие не определяется причиной. Независимо от того, верна или нет подобная интерпретация с философской точки зрения, принцип неопределенности не способен охладить пыл ученых к продолжению своих упорных изысканий. Например, если поведение отдельной газовой молекулы невозможно предсказать с полной определенностью, в среднем все молекулы подчиняются одним и тем же законам, а их поведение можно вычислить на основе статистики, аналогично тому, как страховые компании пользуются вероятностными таблицами смертности, хотя, разумеется, предугадать смерть конкретного человека невозможно.

Но в большинстве научных исследований эта самая неопределенность столь малозначима в масштабе проводимых измерений, что на практике ею обычно пренебрегают. Можно одновременно зафиксировать как положение, так и скорость планеты, звезды,

бильярдного шара или даже песчинки, причем с вполне достаточной точностью.

Что же касается неопределенности в мире субатомных частиц, она не мешает, а помогает физикам в исследованиях. С помощью этого принципа удалось лучше разобраться со многими необычными явлениями: радиоактивностью, поглощением элементарных частиц ядрами и другими интересными фактами.

Принцип неопределенности означает, что Вселенная устроена сложнее, чем мы думали, но ни в коем случае не иррационально.

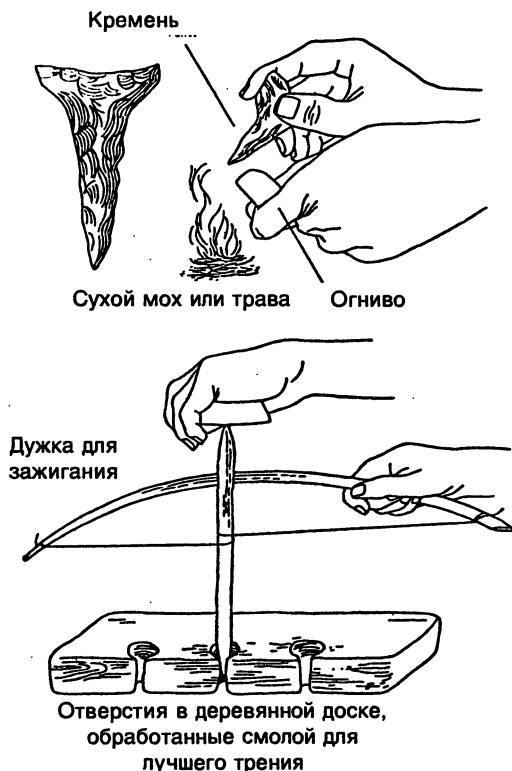
Глава 8 **МАШИНЫ**

Огонь и пар

Первый закон термодинамики констатирует, что энергия не возникает из ничего. Но нет запрета на превращение одного вида энергии в другой. Вся история человеческой цивилизации основана на поиске новых источников энергии, наряду с повышением их мощи и эффективности. По сути, самым большим открытием за всю историю человечества можно считать превращение химической энергии топлива (например, древесины) в тепло и свет.

Это случилось около полумиллиона лет назад, когда наши далекие предки открыли для себя огонь. Вне всяких сомнений, они случайно наткнулись на загоревшийся от молнии кустарник или ствол дерева. Но истинное открытие произошло лишь тогда, когда любопытство победило страх перед неизвестным. Некоторых первобытных людей привлекали остатки природного костра, они с интересом перебрасывали красные угли, совали в них палки, с удивлением наблюдая, как пламя разгорается с новой силой. Если дело было ночью, они обращали внимание на свет и тепло, шедшие от огня. Кроме того, пламя отпугивало диких животных. Мало-помалу человек научился сам разводить костер, пользуясь двумя сухими палочками, которые он тер друг о друга, обогреть свое стойбище или пещеру, жарить добычу, чтобы ее было легче прожевать и чтобы приготовить ее повкуснее.

На долгие годы костер стал для человека практически неисчерпаемым источником энергии, поэтому огонь можно считать главным открытием за всю историю цивилизации, поднявшим человека высоко над всем остальным животным миром. Но в течение многих тысячелетий вплоть до индустриальной революции человек использовал лишь крошечную толику из реальных возможностей огня. С его помощью он лишь освещал и обогревал свое жилище, готовил еду, обрабатывал металлы, делал глиняную и стеклянную посуду — вот, собственно, и все.



Первобытные способы добывания огня

Со временем человек открыл и другие источники энергии. Любопытно, что некоторые из наиболее интересных источников он открыл для себя в период так называемого «темного Средневековья». Именно в то время люди впервые стали использовать каменный уголь в качестве топлива для металлургических печей, построили ветряные и водяные мельницы, чтобы молоть зерно, обнаружили природный магнетизм и изобрели компас, придумали порох и другие взрывчатые вещества для войны.

Примерно в 670 году сирийский алхимик Каллиникс изобрел «греческий огонь», примитивную зажигательную бомбу (состоящую из серы и сырой нефти), которая помогла защитить Константинополь во время его первой осады полчищами мусульман. Порох появился в Европе в XIII веке. Первое сообщение о нем встречается в 1280 году в записках Р. Бэкона, однако в Азии он был известен намного раньше и, вероятно, попал в Европу вместе с татаромонгольскими завоевателями где-то около 1240 года. В любом случае уже в XIV веке в Европе появилась пороховая

артиллерия, а впервые она упоминается при описании битвы при Креси (1346 г.).

Но пожалуй, самым замечательным изобретением Средневековья можно считать открытие, которое приписывается И. Гутенбергу из Германии. Около 1450 года он первым отлил сменные литеры и изобрел книгопечатание, которое дало мощный импульс всей человеческой культуре. Он же подобрал состав красителя для книгопечатания, представлявший собой взвесь черной сажи в льняном масле. Наряду с заменой пергамента на бумагу (изобретенной в Китае в середине I века) это изобретение сделало возможным тиражирование и широкое распространение книг и другой печатной продукции. Ни одно из изобретений — ни до, ни после этого открытия — не распространялось по миру с такой быстротой. На протяжении жизни современников Гутенберга в Европе было напечатано 40 000 книг.

Начиная с этого времени знания, накопленные человечеством, не предавались забвению и не пылились в королевских собраниях старинных манускриптов, а благодаря библиотекам стали доступны всем, кто умел читать. Стали появляться специальные памфлеты, которые создавали и выражали общественное мнение. (Благодаря книгопечатанию призыв Мартина Лютера к реформации католической церкви из частного скандала превратился в историческое событие.) Именно книгопечатание привело к появлению инструмента, без которого становление науки было бы невозможно. Этим независимым инструментом является широкое обсуждение и обмен идеями. До книгопечатания наука была достоянием немногих посвященных; теперь она превратилась в широкое поле общественной активности, привлекающим все новых участников для проведения всевозможных опытов создания новых теорий и гипотез.

Величайший поворотный момент в овладении энергией наступил в конце XVII века, хотя некоторые успехи были достигнуты еще в античные времена. Греческий изобретатель Герон из Александрии в начале I тысячелетия (время его жизни точно неизвестно) построил несколько устройств, работавших от энергии пара. Он использовал расширяющийся пар для открытия дверей в замке, вращения сфер и других работ. Однако Древний мир не сумел оценить эти изобретения, не ощущая потребности в их использовании.

Лишь 15 столетий спустя новое энергичное общество получило очередной шанс. И открытие было вызвано к жизни огромной потребностью в устройствах для откачки воды из шахт, которые становились все глубже. В ручных насосах старого типа (см. главу 4) для поднятия воды использовалось разрежение; и в XVII веке люди уже осознавали, насколько большая сила скрыта в ваку-

уме (точнее, сила давления воздуха, которая вступает в действие при наличии разрежения).

В 1650 году немецкий физик (и мэр Магдебурга) О. фон Герике изобрел воздушный насос, работавший от мускульной энергии. Соединив края двух металлических полусфер, он откачал из них воздух через выпускное отверстие в одной из них. По мере того как давление внутри собранной сферы уменьшалось, сами полусферы сжимались все сильнее за счет атмосферного давления. В конце концов их не смогли расцепить даже две упряжки лошадей, тянувшие в противоположные стороны. Но как только сфера наполнилась воздухом через отверстие, полусферы легко отделились друг от друга. Этот замечательный опыт был показан местным вельможам (присутствовал германский император) и вызвал всеобщее восхищение.

Из понимания силы атмосферного давления можно было сделать вывод, что не слишком большую энергию человека стоит заменить, используя пар для получения вакуума. Положим, вы заполнили цилиндр водой и нагрели ее до кипения. Образовавшийся пар вытеснит воду из емкости. Теперь, если ее охладить (например, проточной холодной водой), то пар сконденсируется до нескольких капель воды и внутри возникнет разрежение. Вода, которую необходимо поднять вверх (например, из затопленной шахты), засасывается в вакуумированный сосуд через клапан.

Первым, кто сумел реализовать эту идею, стал английский военный инженер Т. Севери. Его паровой двигатель можно было использовать как для откачки воды из шахт, так и для вращения колес водяных мельниц, поэтому сам изобретатель назвал его «другом рудокопа». Однако первые конструкции были опасны в эксплуатации (поскольку от высокого парового давления емкости и трубопроводы нередко взрывались) и малоэффективны (так как тепло пара каждый раз терялось во время охлаждения контейнера). Через 7 лет после того, как Севери запатентовал первый паровой двигатель (1698 г.), кузнец Т. Ньюкомен усовершенствовал первоначальную конструкцию, существенно снизив рабочее давление пара.

Но и машина Ньюкомена была недостаточно эффективна, поэтому еще более полувека паровые двигатели не получали широкого использования, но затем шотландский механик Дж. Уатт нашел способ повышения эффективности паровых устройств. Занимаясь наладкой парового двигателя Ньюкомена, он задумался о причинах его невысокой производительности. Почему всякий раз котел с паром необходимо охлаждать? Что, если поддерживать температуру паровой камеры на постоянно высоком уровне, а рабочий пар выводить в специальную конденсаторную камеру, которая постоянно охлаждается? Помимо этого, Уатт добавил еще несколько важных деталей: поместил внутрь цилиндра поршень, который выталкивал пар; преобразовал возвратно-поступательное движение поршня во

вращение приводного колеса и т. д. К 1782 году паровой двигатель его конструкции, оказавшийся более чем в 3 раза производительнее машины Ньюкомена, получил признание и превратился в настоящую «рабочую лошадку».

Но и после эпохального открытия Уатта эффективность паровых двигателей постоянно росла, главным образом за счет использования все более горячего пара под все более высоким давлением. Даже теория термодинамики, основы которой разработал Карно (см. главу 7), явились результатом понимания, что максимальная эффективность теплового двигателя определяется разницей температур горячего резервуара (например, с паром) и конденсатора.

После откачки воды из шахт, где паровой двигатель практически сразу нашел самое широкое применение, он произвел настоящую революцию во флоте. В 1787 году американский изобретатель Д. Фитч построил паровую лодку, которая хотя и работала, но приносила убытки, поэтому сам Фитч умер в неизвестности и нищете. Р. Фултон оказался более удачливым, спустил на воду свой пароход «Клермон» в 1807 году с большой шумихой, поэтому именно его принято считать изобретателем парохода. Но в действительности он является изобретателем парохода не больше, чем Уатт — автором первой паровой машины.

Намного большей признательности Фултон заслуживает за свои упорные попытки создать подводную лодку. Его конструкции не были практичными, но во многом они стали прототипами современных подлодок. Подлодка, названная «Наутилус», возможно, побудила Ж. Верна написать в 1870 году всемирно знаменитый фантастический роман «80 тысяч лье под водой» о приключениях субмарины с этим именем. В свою очередь, роман Ж. Верна инспирировал название первой подводной лодки с ядерным двигателем на борту (см. главу 9).

Уже в 30-х годах XIX века Атлантику пересекали паровые корабли, снабженные гребными винтами, заменившими менее эффективные гребные колеса. А в 1850-х годах даже быстроходные торговые клиперы стали заменять судами с паровым двигателем.

Паровой двигатель занял господствующее положение и в наземном транспорте. В 1814 году английский инженер Дж. Стефенсон (продолжив работы своего земляка Р. Тревитика) построил первый реально действующий паровой локомотив-паровоз. Возвратно-поступательное движение поршня через привод преобразовывалось во вращение металлических колес, которые двигались по стальным рельсам. А в 1830 году в США был пущен первый в мире железнодорожный экспресс, в котором люди впервые путешествовали по земле в комфортных условиях. Коммерческие перевозки по железной дороге стали конкурировать с морской торговлей. В 1869 году США пересекла трансконтинентальная магистраль.

В Британии паровые двигатели впервые стали использовать на фабриках и заводах для привода разнообразных машин и механизмов. Благодаря промышленной революции (термин французского экономиста Ж. Бланки) на смену мускульной энергии пришла механическая.

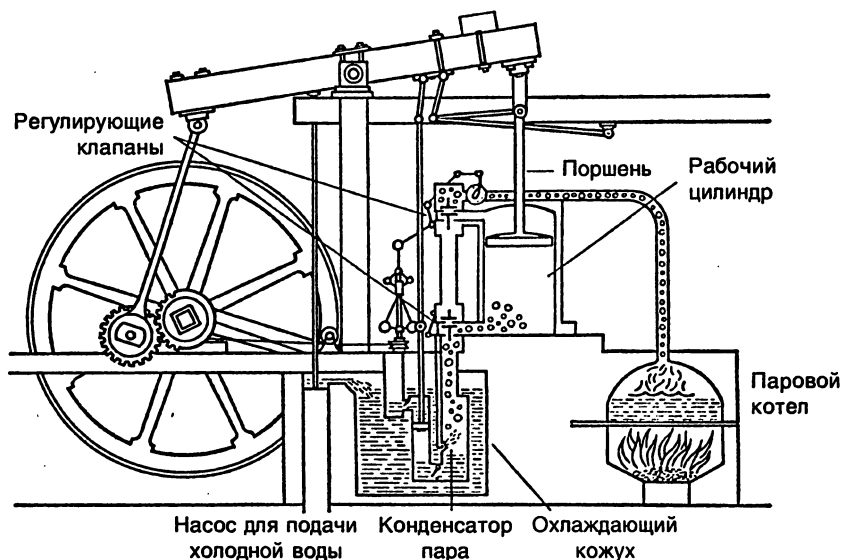
Электричество

По своей природе паровой двигатель больше подходит для широкомасштабного непрерывного производства энергии. С его помощью очень трудно вырабатывать энергию небольшими порциями или в нестационарном режиме (нажатием кнопки): «портативный» паровой двигатель, огонь в котором можно было бы гасить или зажигать по необходимости, представляется абсурдным устройством. Поколение людей, увидевшее укрощение паровой мощи, стало также свидетелем превращения энергии именно в такую форму, которая всегда готова к использованию и может быть переправлена в любое место и в любых количествах. Речь, разумеется, идет об электричестве.

Греческий философ Фалес из Милета примерно в 600 году до нашей эры заметил, что кусочки смолы, найденные на берегу Балтийского моря (которые мы называем янтарем, а древние греки — электроном), обладают способностью притягивать перышки, нитки или пушинки, если их потереть о кусочек меха или шерсти. Поэтому много лет спустя англичанин В. Гилберт, открывший в свое время магнетизм (см. главу 5), предложил называть эту силу взаимного притяжения *электричеством*. Гилберт также установил, что, помимо янтаря, подобным свойством обладают и другие материалы, например стекло.

В 1733 году французский химик Ш. Дюфэ обнаружил, что если два янтарных или стеклянных стержня наэлектризовать описанным выше образом, то пара стержней из одного материала начинает отталкиваться друг от друга. В то же время наэлектризованные янтарь и стекло притягиваются, а если их соединить вместе, то электрический заряд теряется. Ученый сделал вывод, что имеет дело с двумя видами электричества — *стеклоидным* и *смолоидным*.

Но американский испытатель и философ Б. Франклин, который очень заинтересовался новым явлением, предположил, что это одна и та же подвижная субстанция. В результате трения стекла в него переходит электричество, придавая ему положительный заряд; с другой стороны, в результате трения янтаря из него электричество уходит, превращая янтарь в отрицательно заряженный. А когда положительно и отрицательно заряженные образцы соприкасаются друг с другом, электричество перетекает от плюса к минусу и заряды нейтрализуются.



Паровая машина Джеймса Уатта

Это была блестящая догадка. И если вместо «подвижной субстанции» в этом предположении Франклина вставить слово «электроны», а также поменять направление электрического тока (в реальности электроны перетекают с янтаря на стекло), то его гипотеза абсолютно справедлива.

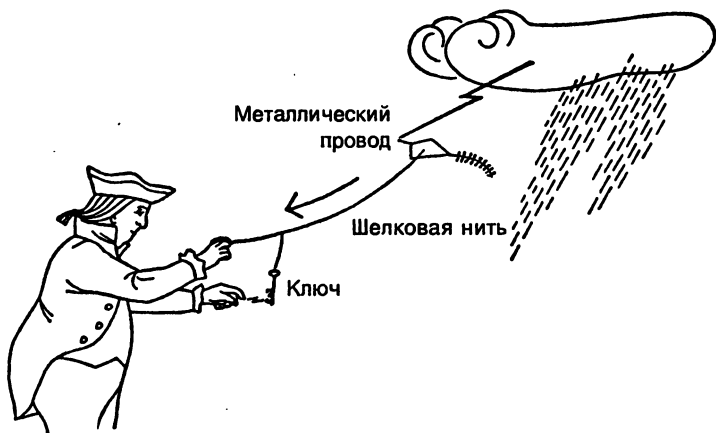
Французский изобретатель Ж. Дезагулье в 1740 году предложил назвать те материалы, через которые электричество течет свободно (например, металлы), проводниками, а те, которые его не проводят (например, стекло и янтарь), — изоляторами.

В ходе экспериментов было установлено, что если проводник изолировать с помощью стекла, смолы или воздушной прослойки и предотвратить потерю электричества, то величину электрического заряда можно довести до весьма больших значений. Наиболее известное устройство такого типа называется лейденской банкой. Впервые его изготовил в 1745 году немецкий естествоиспытатель Е. фон Клейст, но свою известность оно получило благодаря работам, выполненным в Лейденском университете (Голландия), где его независимым образом сконструировал и испытал другой ученый, П. Муссенброк. Лейденская банка — пример того, что мы теперь называем конденсатор, то есть представляет собой две проводящие поверхности, разделенные тонким слоем изолятора, на которых может накапливаться и храниться электрический заряд.

В лейденской банке заряд собирался на двух листах оловянной фольги, которыми большая стеклянная банка была обложе-

на изнутри и снаружи, заряд на пластины подавался через медные цепочки. Если прикоснуться к заряженной банке, можно получить сильный электрический удар. С помощью такого устройства можно получить и электрическую искру. Чем больше накопленный заряд, тем больше вероятность, что заряженное тело разрядится. Сила, под действием которой электроны перетекают из области избыточного заряда (отрицательный полюс) в область дефицита заряда (положительный полюс), называется *электродвижущей силой* (ЭДС), или *электрическим потенциалом*. Если электрический потенциал слишком высок, электроны могут пробить слой изолятора между полюсами. Этот процесс сопровождается яркой искрой и громким треском. Искра вызвана одновременным столкновением множества электронов с молекулами воздуха, а треск — мгновенным расширением нагретого воздуха, после которого следует хлопок холодного воздуха, врывающегося в образовавшееся разреженное пространство.

Возникло намерение проверить, не теми ли причинами обусловлен блеск молнии и раскаты грома во время грозы. Такое предположение первым высказал британский ученый В. Уолл в 1708 году. Чтобы проверить эту идею, в 1752 году Б. Франклин поставил свой знаменитый опыт. Во время разыгравшейся грозы он запустил воздушного змея с острым проводом (антенна), удерживая его, привязав электропроводной шелковой нитью. Стоило Франклину приблизить свою руку к металлическому ключу, который он привязал к шелковой нити, как тут же появлялась яркая искра. Тем самым Франклин продемонстрировал, что грозовые облака накапливают мощный электрический заряд, а молния и гром вызваны «лейденской банкой в небе», где одним полюсом служит заряженное облако, а другим — земная поверхность.



Опыт Франклина

Франклину здорово повезло, что он остался в живых после своего смелого эксперимента. Некоторые другие исследователи, пытавшиеся повторить его опыт, погибли на месте от прошедшего их тело мощного электрического разряда.

После своего опыта Франклин изобрел молниеотвод: обычный железный стержень устанавливался на самой высокой точке строительной конструкции и скреплялся с металлическим проводом, конец которого был зарыт в землю. Торчащий конец стержня притягивал к себе заряд, стекающий с грозовых облаков, а в случае молнии электрический заряд безопасно отводился в землю.

В результате массовой установки таких молниеотводов по всему миру резко уменьшилось количество человеческих жертв и пожаров, вызванных грозами. Достаточно сказать, что каждый год на Земле наблюдается до 2 миллиардов вспышек молнии, от которых погибает около 20, а получают увечья до 80 человек ежедневно!

Опыт Франклина имел (прошу прощения за жаргон) два «электрифицирующих» эффекта. Во-первых, во всем мире резко поднялся интерес к практическому использованию электрической энергии. А во-вторых, американские колонии заявили о себе в масштабе общемировой культуры. Впервые жители Америки доказали всему миру, что не только у европейцев, но и у жителей Нового Света есть научный потенциал, чтобы внести достойный вклад в победу эры разума. Когда четверть века спустя Франклин представлял в Версале новорожденные Соединенные Штаты Америки и просил о поддержке юного государства, то завоевал заслуженное уважение не только как политик, но и как ученый, сумевший обуздать небесную стихию и приручить молнию. Таким образом, его воздушный змей помог в немалой степени укрепить независимость США.

После опытов Франклина исследования в области электричества приняли лавинообразный характер. Количественные измерения электрического притяжения и отталкивания в 1785 году провел французский физик Ш. де Кулон. Он установил, что сила притяжения (или отталкивания) двух зарядов падает прямо пропорционально квадрату расстояния между ними. В этом отношении электрическое притяжение походило на силу гравитации. В честь автора нового закона его именем был назван не только сам закон, но и *кулон* — единица электрического заряда.

Немного времени спустя в области электричества произошло еще одно очень примечательное событие. Все сказанное относится к *статическому электричеству*, то есть к поведению электрических зарядов, которые находятся в состоянии покоя. Все явления и законы, связанные с перемещением электрических зарядов, подпадают под понятие *динамического электричества*, или *электродинамики*. Изучение этой области началось с работ итальянского анатома Л. Гальвани, который в 1791 году случайно обнаружил,

что мышцы бедра препарированной им лягушки конвульсивно сокращаются при соприкосновении с двумя разными металлами (так возник глагол гальванизировать).

Мышечные ткани вели себя так, будто на них воздействовали искрой из лейденской банки, поэтому Гальвани решил, что в этих мышцах содержится так называемое «животное электричество». Однако другие ученые полагали, что причина электрического разряда определяется парой металлов. В 1800 году другой итальянец, А. Вольта, провел исследования нескольких пар различных металлов, но вместо лягушачьей лапки использовал простые растворы.

Вначале он погружал металлические пластины в емкость, наполовину заполненную подсоленной водой. Чтобы свести необходимый объем раствора до минимума, Вольта использовал небольшие медные и цинковые диски, которые расположил попеременно с небольшими промежутками. Кроме того, вместо раствора он использовал картонные кружки, пропитанные подсоленной водой, и составил в результате свой знаменитый вольтов столб в виде повторяющихся слоев: серебро—картон—цинк—серебро—картон—цинк—серебро... Это устройство создавало постоянный электрический ток.

Такие конструкции из двух и более компонентов обычно называют батареями. Таким образом, вольтов столб был первой электрической батареей. Иногда его называют *электрической ячейкой*. Понадобилось целое столетие, чтобы ученые поняли, что химические реакции сопровождаются переходом электронов; таким образом, электрический ток можно истолковать с позиции «электроннообменных» процессов. На первом же этапе электрический ток стали использовать в практических целях без детального понимания самого процесса.

С помощью электрического тока в 1807—1808 годах Х. Дэви сумел выделить чистые металлы, отделив их от атомов других элементов. Он впервые получил в чистом виде такие химически активные металлы, как натрий, калий, магний, кальций, стронций и барий. Фарадей (помощник и ученик Дэви) разработал общие принципы молекулярного электролиза, на основе которых полвека спустя шведский химик С. Аррениус создал теорию ионной диссоциации (см. главу 4).

Многообразные варианты применения электродинамических устройств за прошедшие после изобретения Вольта два столетия на первый взгляд отодвинули электростатику в глубокую тень, превратив ее в исторический курьез. Но это не так, поскольку ни знания, ни человеческая изобретательность никогда не стоят на месте. В 1960 году американский инженер Ч. Карлсон создал новое устройство для копирования, в котором частички угольного порошка прилипали к листу бумаги в местах ее обработки локальным электростатическим полем. Такой способ копирова-

ния, при котором не нужны никакие растворы или увлажненные материалы, названный *ксерографией* (что по-гречески означает «сухое письмо»), совершил настоящий переворот в канцелярской практике.

Имена первооткрывателей в области электричества навечно сохранены в названиях единиц различных параметров, связанных с электрическими явлениями. Я уже упоминал кулон как единицу количества электричества. В качестве другого примера можно вспомнить применяемый в электрохимии *фарадей*, равный 96,5 кулона. Еще раз имя Фарадея используется в названии единицы электрической емкости *фарады*. Сила электрического тока (количество электричества, проходящее через проводник за единицу времени) носит название *ампер*, в честь французского физика А. Ампера (см. главу 4). Один ампер равен одному кулону за секунду. А электродвижущая сила (которая вызывает электрический ток) измеряется в *вольтах*, в честь великого итальянца.

Но одна и та же величина ЭДС не всегда вызывает ток одинаковой величины через различные проводники. В случае хороших проводников этот ток достаточно велик, но при ухудшении проводимости материала он снижается. В 1827 году немецкий математик Г. Ом, исследуя сопротивление, которое материалы оказывают электрическому току, показал, что эта величина определяется отношением приложенного напряжения (в вольтах) к величине электрического тока (в амперах). Это правило получило название закон Ома, а единицу электрического сопротивления, равную одному вольту, деленному на один ампер, стали называть *ом*.

Однако получение электричества за счет химических превращений, как это сделал Вольта и его многочисленные последователи, является довольно дорогим способом, поскольку для этого требуются не очень дешевые металлы и другие химикаты. По этой причине, хотя для лабораторных исследований такие электрические источники широко использовались уже в начале XIX века, для промышленных масштабов они не были пригодны.

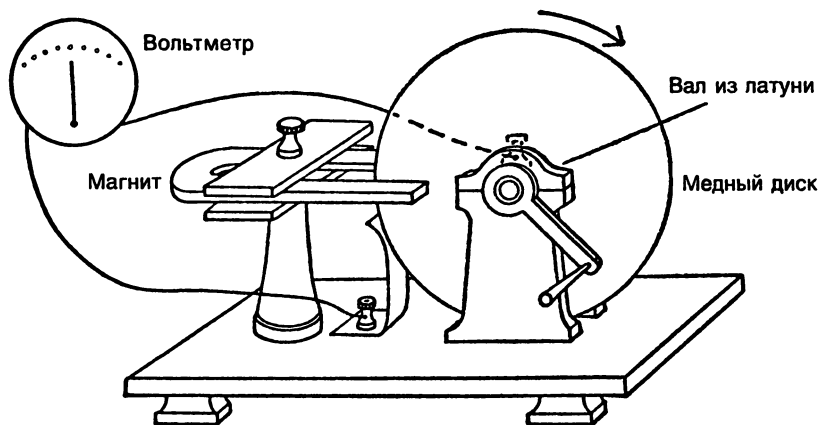
Поэтому продолжались упорные попытки задействовать для этой цели химическую энергию, выделяющуюся при сгорании обычного топлива. Такое топливо, как водород (а еще лучше уголь), намного дешевле меди или цинка. И в 1839 году английский ученый В. Гроув изготовил электрическую ячейку, работавшую на водородно-кислородной смеси. Несмотря на оригинальную идею, устройство оказалось непрактичным. В последующие годы физики много работали над новыми видами «топливных ячеек». Теоретически все было ясно, но практические проблемы оказались намного сложнее, чем казалось вначале.

Когда во второй половине XIX века потребность в источниках электричества резко увеличилась, электрическая ячейка была забыта. Еще в 1830-х годах Фарадей придумал механический спо-

соб получения электрической энергии — путем быстрого перемещения проводника поперек силовых линий магнитного поля (см. главу 4). В таком электрическом генераторе, или динамо-машине (от греческого слова «сила»), механическая энергия трансформировалась в электрическую. Но механическое движение легко поддерживать с помощью пара, который можно получить с помощью топлива. Таким образом, хотя и не прямым путем, как в электрохимической ячейке, энергия угля (или той же древесины) при сгорании могла превратиться в электричество. В 1844 году один из первых (и громоздких) генераторов появился на производстве.

Сразу возникла большая потребность в мощных магнитах, поскольку от напряженности магнитного поля напрямую зависела сила генерируемого электрического тока. Такие мощные магниты были созданы, в свою очередь, с использованием электрического тока. В 1823 году английский инженер-электрик В. Стёджен обмотал железный брусок U-образной формы оголенным медным проводом (так, чтобы соседние петли не соприкасались) и, пропустив через провод электрический ток, получил первый *электромагнит*. Сила магнитного поля железной «подковы» при пропускании электрического тока через обмотку была настолько велика, что с ее помощью можно было поднять в 20 раз больше железа, чем весил сам магнит.

В 1829 году американский физик Дж. Генри усовершенствовал конструкцию электромагнита, используя изолированный провод. Появилась возможность уложить петли с максимальной плотностью без опасения получить короткое замыкание: каждая

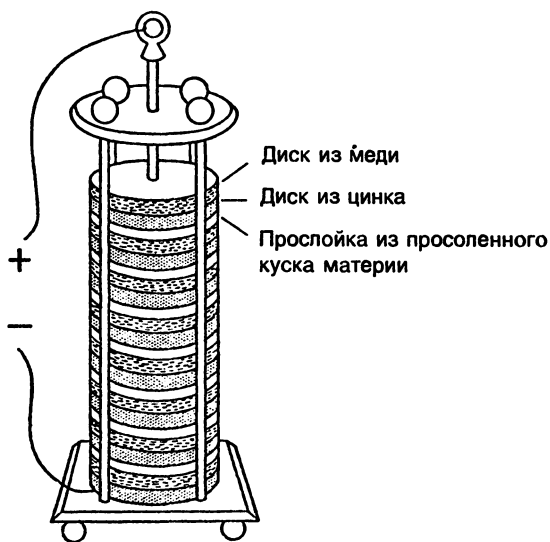


Динамо-машина М. Фарадея. Вращающийся медный диск пересекает линии магнитного поля, в результате чего генерируется электрический ток, который фиксируется вольтметром

дополнительная петля повышала силу магнитного поля и мощность самого электромагнита. В 1831 году Генри изготовил небольшой электромагнит, поднимавший более тонны железа.

Создание электромагнита позволило резко продвинуться по пути создания эффективных электрогенераторов. В 1845 году английский физик Ч. Витстоун впервые использовал электромагнит для этой цели. Теоретическое обоснование протекающих процессов появилось в 1860-х годах, когда Максвелл подвел математическую базу под эксперименты Фарадея. В 1872 году немецкий инженер-электрик Ф. Хефнер-Алтенеке построил первый по-настоящему эффективный генератор. С этого момента, наконец, появилась возможность получать электричество в больших количествах и по сравнительно невысокой цене, причем не только за счет сгорания топлива, но за счет силы падающей воды.

Львиная доля инженерно-технических достижений в области прикладного электричества по праву принадлежит Дж. Генри. Он первым предложил использовать электричество для телеграфии, изобретая систему быстрой и надежной передачи информации на многие километры по проводам. Несмотря на то что сила электрического тока из-за электрического сопротивления проводов падает с расстоянием, Генри придумал, как использовать ослабленные сигналы для включения небольших электромагнитных реле, которые



Батарея Вольта. При контакте двух различных металлов возникает электрический ток, перетекающий из одной ячейки в другую через пропитанный соевым раствором кусок ткани. Знакомую всем нам «сухую батарею», или «сухой элемент», изобрел в 1841 г. Бунзен (который больше известен своими работами в спектроскопии)

но установить где угодно, его можно быстро включить или выключить (не дожидаясь остывания парового котла); и его можно изготовить любых размеров и мощности.

Принципиальная идея состояла в том, что электричество можно подвести от электрогенератора к месту установки мотора. Главное было найти способ снизить потери электроэнергии при передаче по проводам в результате рассеивания тепла.

Вскоре появился ответ и на этот вопрос — трансформатор. Опыты показали, что потери электроэнергии резко снижаются при уменьшении силы тока, поэтому напряжение подаваемого генератором тока решили повышать с помощью последовательно установленных трансформаторов. При увеличении напряжения, например, в 3 раза во столько же раз падает и сила тока. Уже на месте потребления переданной электроэнергии уровень напряжения уменьшается до нужной величины с помощью понижающего трансформатора.

В трансформаторе используется принцип индукции, когда ток более низкого (или, наоборот, высокого) напряжения в первичной обмотке вызывает повышенное (или соответственно пониженное) напряжение во вторичной обмотке. Такое изменение подразумевает изменение магнитного поля во вторичной обмотке. Поэтому такой прием пригоден только для *переменного тока*, который периодически возрастает до максимального значения, а затем падает до нуля, меняет направление на противоположное и т. д.

Переменный ток не сразу доказал свое преимущество. Удивительно, но ярким противником переменного тока был Т. Эдисон, одна из величайших фигур в области электротехники последней четверти XIX столетия. По его проекту в Нью-Йорке в 1882 году была пущена в ход электростанция постоянного тока, использовавшаяся для городского освещения. Эдисон утверждал, что переменный ток более опасен для человека, чем постоянный (ссылаясь, в частности, на его использование в электрических стульях для казни преступников). Но его доводы убедительно опроверг Н. Тесла, работавший инженером в лаборатории Эдисона. В 1888 году Тесла разработал надежную систему генерации и передачи переменного тока. А в 1893 году другой сторонник переменного тока, Дж. Вестингауз, одержал окончательную победу над Эдисоном, выиграв для своей компании контракт на строительство каскада гидроэлектростанций на Ниагарском водопаде. В последующие десятилетия Стейнмец подвел под теорию переменного тока строгие математические основания. С тех пор переменный ток занял господствующее положение во всей системе электроэнергетики. (Для иллюстрации приведем еще один любопытный факт. В 1966 году американская компания «Дженерал электрик» изготовила трансформатор постоянного тока, что долгое время казалось невозможным, однако он мог работать при температуре жид-

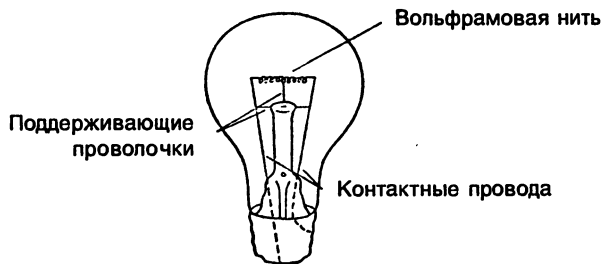
перерыва 40 часов. А в канун нового, 1880 года Эдисон устроил триумфальную презентацию, осветив целую улицу в городке Менло-Парк (штат Нью-Джерси), где располагалась его лаборатория. Запатентовав свое открытие, он быстро наладил серийное производство новых средств освещения.

Но Эдисон был не единственным изобретателем лампы накаливания. Такая же цель была у английского инженера Дж. Свона, который предложил использовать в качестве нити накаливания тонкий угольный стержень. Впервые он продемонстрировал новое устройство 18 декабря 1878 года, но производство лампы новой конструкции ему удалось наладить лишь в 1881 году.

Тем временем Эдисон продолжил изыскания по созданию надежной и достаточно мощной системы электропитания для домашнего освещения. Эта задача требовала не меньше знаний и мастерства, чем изобретение самой электролампы. Позднее в конструкцию лампы были внесены два важных изменения. В 1910 году сотрудник компании «Дженерал электрик» В. Кулидж предложил использовать в качестве нити накаливания металлический вольфрам — тугоплавкий металл, обладающий высоким электрическим сопротивлением. А в 1913 году И. Лэнгмюр, чтобы замедлить испарение и разрушение нити накаливания (как это происходит в условиях вакуума), стал заполнять стеклянную колбу азотом — инертным газом.

Но в 1920 году выяснилось, что больше, чем азот, для этой цели подходят другие инертные газы: аргон и особенно криптон, которые не только существенно продлили срок службы электроламп, но и повысили их светоотдачу.

Существуют электролампы самых различных типов и назначений. Так называемая «неоновая лампа», изобретенная французским химиком Ж. Клодом в 1910 году, представляет собой стеклянную трубку, заполненную неоном, который под действием электрических разрядов начинает светиться красным светом. «Лампа для загара» заполнена парами ртути, которая дает ультрафиолетовое излучение, способствующее загару, убивающее бактерии и вызывающее *флуоресценцию* некоторых веществ. Впервые



Электрическая лампа накаливания

этот эффект был продемонстрирован в 1939 году на Всемирной выставке в Нью-Йорке, где была показана ультрафиолетовая лампа, на внутренней стороне которой было нанесено покрытие (на основе солей бериллия), светившееся голубоватым светом, наподобие белого фосфора. Однако использование таких ламп вызывало серьезное отравление (бериллёз) — из-за вдыхания ядовитых солей или попадания их в организм через случайные порезы о стеклянные осколки. Поэтому после 1949 года в таких лампах стали использовать фосфор.

Одно из наиболее интересных достижений в этой области касается непосредственного превращения электричества в световое излучение — без промежуточного ультрафиолета. В 1936 году французский физик Ж. Дестрио обнаружил, что сам по себе переменный ток достаточной силы вызывает *фосфоресценцию*, напоминающую свечение сульфида цинка. Такие светильники получили название *электролюминесцентные*, или *лампа дневного света*. Для получения более равномерного свечения и повышения светотдачи изнутри стеклянные или пластиковые трубки обычно покрывают специальными составами, чаще всего на основе малорастворимых соединений ртути. Подобные светильники, которым можно придать самую разнообразную форму и цвет, широко используются для украшения улиц, помещений, магазинных витрин, выставочных павильонов и т. д.

Пожалуй, ни одно изобретение в области света не доставило людям столько радости, как фотография. Свое начало она берет с давнего наблюдения, что свет, проходя через узкое отверстие в темном ящике (по-латыни он называется *камера обскура*), образует на задней стенке тусклое перевернутое изображение расположенного снаружи объекта. Первое подобное устройство сконструировал в 1550 году итальянский алхимик Ж. делла Порта. Это так называемая «дырочная камера».

В дырочной камере входящий световой поток весьма невелик. Однако если в отверстие поместить линзу, то можно сфокусиро-



Флуоресцентная лампа. В результате разряда электронов, вылетающих с нити накаливания, пары ртути внутри трубки возбуждаются, давая ультрафиолетовое излучение. Ультрафиолет, в свою очередь, заставляет светиться фосфорное покрытие

вать значительно больший световой поток и получить более яркое изображение. Но после этого надо зафиксировать это изображение. Процесс химической фиксации исследовали французы Ж. Нипс и Л. Дагер, а также англичанин В. Тэлбот. Найти надежный способ химической фиксации изображения удалось лишь к середине XIX века.

Изображение фиксировалось с помощью нанесенного на стеклянную пластину эмульсионного покрытия, в состав которого входило соединение серебра. Под действием света в эмульсии протекали химические изменения, напрямую зависевшие от уровня освещенности в той или иной точке. В процессе проявления химический проявитель восстанавливает на экспонированных участках соединение серебра до металла — в зависимости от интенсивности попавшего на него света. После удаления оставшегося соединения серебра специальным раствором на пластине остается *негатив*, на котором изображение представлено в виде почерневших участков (металлическое серебро) различной интенсивности. После проекции негатива на светочувствительную поверхность получается окончательное *позитивное изображение*. Фотография мгновенно заняла достойное место в качестве незаменимого средства документальной фиксации реальных событий, и уже в 1855 году английские фотографы сняли некоторые эпизоды Крымской войны, а вскоре американец М. Брейди, пользуясь крайне примитивным, с нашей точки зрения, оборудованием, запечатлел реальные события Гражданской войны в США.

Уже к концу XIX века фотографический процесс стал намного быстрее и проще. Американский изобретатель Дж. Истмэн вместо влажных эмульсионных покрытий сначала разработал сухие фотопластинки, а позднее — гибкую фотопленку с нанесенным на одну из сторон светочувствительным покрытием. Существенно повысилась и чувствительность самой эмульсии, поэтому объекту уже не надо было подолгу «позировать».

В годы Второй мировой войны процесс фотографии еще больше упростился благодаря появлению камеры Лэнда, названной так по имени изобретателя Г. Лэнда, сотрудника американской компании «Поляроид» (в наше время фотокамеры этого типа чаще называют «поляроидами», а сам способ — *моментальной фотографией*). В таком фотоаппарате сразу происходит проявление полученного во время съемки негатива, и уже через несколько секунд из камеры появляется готовый позитивный отпечаток.

В начале XX века французский физик Г. Липпманн сообщил о разработанном им способе цветной фотографии. И хотя за это открытие он был удостоен Нобелевской премии по физике за 1908 год, предложенная методика оказалась ошибочной, и лишь в 1936 году появилась настоящая цветная фотография. Новый, и более успешный, вариант основывался на интересном явлении, которое еще в 1855 году описали Максвелл и Гельмгольц: любой спектральный

оттенок можно получить, подобрав нужную комбинацию трех основных цветов: красного, зеленого и синего. Используя этот принцип, цветную фотопленку изготавливают с тремя эмульсионными слоями, один из которых чувствителен к красному, другой — к зеленому и последний — к синему свету. Получающиеся три отдельных, наложенных друг на друга прозрачных изображения дают в результате цветной негатив, который затем подвергается трехступенчатому проявлению, когда используются красный, зеленый и синий красители. Каждая точка на позитиве представляет собой определенную комбинацию красного, зеленого и синего, которую человеческий мозг воспринимает как конкретный оттенок.

В 1959 году уже упоминавшийся Лэнд предложил собственную теорию цветного восприятия. Он утверждал, что для формирования адекватного цветового ощущения мозг не нуждается в комбинациях из трех основных цветов. Все, что для этого нужно, — это две различных длины волн или набор из таких волн, каждая из которых длиннее другой на определенную величину. Примером одного из таких наборов длин волн может быть полный спектр, или белый свет. Поскольку средняя длина волны белого света располагается в желто-зеленом участке спектра, то его и можно взять в качестве «короткой» длины волны. Тогда любое изображение можно получить путем соответствующих комбинаций белого света (коротковолновая составляющая) и красного света (длинноволновый компонент), которые дадут все оттенки спектра. Помимо этого, Лэнд демонстрировал получение любых цветных оттенков с помощью фильтров зеленого и красного света, а также других цветовых пар.

Изобретение «движущихся фотографий» связано с наблюдением английского врача М. Рожея, сделанным в 1824 году. Он заметил, что фиксируемое человеческим глазом изображение сохраняется в мозгу заметную долю секунды. После появления фотографии многие изобретатели, особенно во Франции, пытались использовать этот эффект, чтобы создать иллюзию движения путем быстрой демонстрации серии рисунков. Многие из вас знакомы с домашней забавой, когда быстро следующие одна за другой картинки со слегка смещенным изображением гимнаста или бегуна создают ощущение, будто он движется. Если серию таких последовательных изображений проецировать на экран с интервалом в $1/16$ секунды, то они сольются, создав ощущение непрерывного движения.

Первое такое «кино» принадлежит Эдисону, который сделал серию слегка смещенных фотоснимков, а затем прокрутил эту пленку через проектор. В 1894 году первый ролик был показан широкой публике, а в 1914 году в театрах США демонстрировался полнометражный фильм «Рождение нации».

Звуковое кино появилось в 1927 году. «Звуковая дорожка» также записывается с помощью света: музыка и речь через микро-

фон преобразуются в переменные сигналы электрического тока, который подается на лампу, переменный свет лампы записывается на киноплёнку параллельно с изображением. А когда эту плёнку проецируют на экран, световые сигналы преобразуются обратно в электрический ток с помощью фотоэлектрического эффекта, а ток, в свою очередь, превращается в звук.

Практически сразу после появления первой звуковой кинокартины «Джазовый певец» (США) немое кино кануло в небытие, а в конце 1930-х годов к «разговорам» на экране добавился цвет. В 1950-х годах появилось стереокино, в котором объёмный эффект достигается путем проецирования на экран двух смещённых кадров, которые зритель видит отдельно в специальных очках с поляризованными стеклами, каждое изображение — одним глазом, что создаёт стереоэффект.

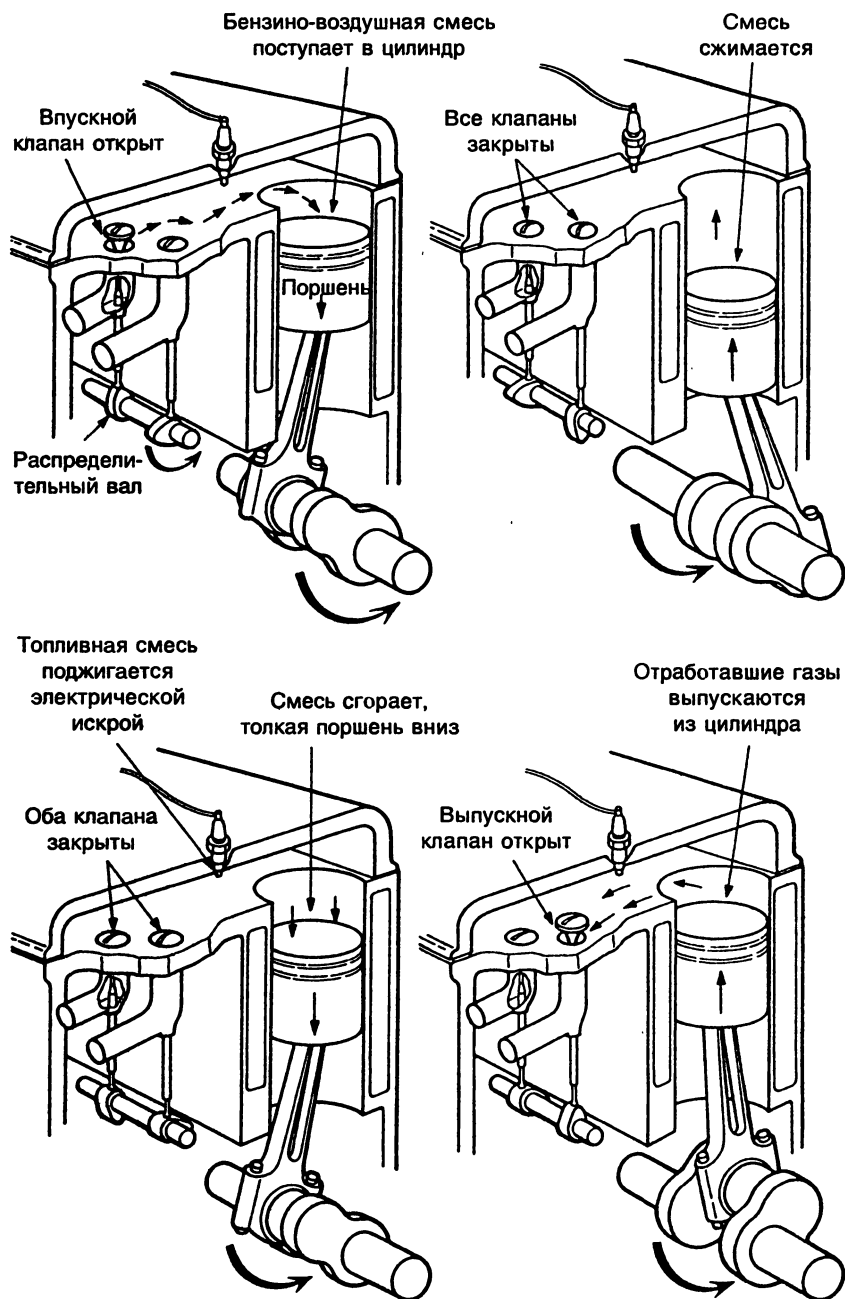
Двигатели внутреннего сгорания

Практически одновременно с появлением искусственного освещения произошло другое важное научно-техническое событие, буквально перевернувшее весь мир. Это изобретение двигателя внутреннего сгорания, в котором газы, образующиеся в результате сгорания в цилиндре топлива, воздействуют на поршень и производят полезную работу. (Паровая машина является *двигателем внешнего сгорания*, в котором процесс горения идет вне цилиндра, а образующийся пар подается в рабочий цилиндр.)

Это компактное устройство за счет сгорания топливной смеси внутри цилиндра приводит в движение различные средства передвижения. Один из первых «безлошадных экипажей», еще на паровой тяге, построил В. Мердок, партнер Дж. Уатта, в 1786 году. А столетие спустя американский изобретатель Э. Стэнли изобрел свой знаменитый паровик, который одно время успешно соперничал с автомобилями, работающими на двигателях внутреннего сгорания. Однако, как показала история, победа осталась за последними.

Фактически первые двигатели внутреннего сгорания появились в начале XIX века, эти первые образцы работали на газообразном водороде. Но бензин оказался более удобным и доступным видом жидкого топлива, и двигатели внутреннего сгорания стали важнейшим элементом современной жизни.

Первый практически значимый двигатель внутреннего сгорания сконструировал в 1860 году французский изобретатель Э. Ленуар, а в 1876 году немецкий техник Н. Отто построил первый четырёхтактный мотор. На первой стадии поршень внутри цилиндра опускается вниз, в результате чего в цилиндр всасывается воздушно-бензиновая смесь. Затем под действием поднимающегося поршня смесь сжимается, подается электрическая ис-



Четырехтактный двигатель Н. Отто, созданный в 1876 году

кра, и происходит сгорание. Поршень снова опускается, приводя в движение колесо, от поворота которого поршень поднимается вверх, выталкивая сгоревшие газовые остатки, «выхлоп», из цилиндра. На этом полный цикл завершен, и колесо снова переводит поршень в нижнее положение для начала следующего цикла.

Вскоре шотландский инженер Д. Клерк добавил к этой конструкции еще один цилиндр, поршень которого двигался в противофазе с поршнем из первого цилиндра: это сделало работу двигателя более плавной. Впоследствии число цилиндров было доведено до 8, что резко повысило мощность и плавность работы поршневых двигателей.

Большую проблему представляло своевременное воспламенение воздушно-бензиновой смеси. После опробования различных вариантов в 1923 году остановились на электрической системе зажигания, работающей от аккумуляторной батареи. Это батарея, в которой электрическая энергия вырабатывается в результате химической реакции и которую можно снова зарядить, пропуская электрический ток в обратном направлении. Во время зарядки химический процесс идет в обратном направлении, восстанавливая исходное состояние батареи. В автомобиле такая подзарядка аккумулятора осуществляется во время движения машины от генератора постоянного тока.

Наиболее распространенная конструкция аккумулятора представляет набор положительных и отрицательных пластин из свинца, покрытых активной массой и погруженных в концентрированный раствор серной кислоты. Такой аккумулятор изобрел французский физик Г. Планте в 1859 году, чью конструкцию довел до современного уровня американский инженер-электрик Ч. Браш в 1881 году. С тех пор ни одна из конструкций не может превзойти по экономичности свинцовый аккумулятор.

Электрический ток с аккумулятора преобразуется в переменное магнитное поле трансформатора (автомобилисты называют его *индукционной катушкой* или катушкой зажигания), которое вызывает резкий скачок напряжения и мощную искру через зазор электрической свечи в камере сгорания рабочего цилиндра для воспламенения топливно-воздушной смеси.

Двигатель преобразует тепловую энергию, получаемую при сгорании топливно-воздушной смеси, в механическую, создающую на его валу крутящий момент, используемый для движения автомобиля. Однако для запуска двигателя необходимо подвести энергию снаружи. Вначале это делали вручную (пользуясь специальной изогнутой рукояткой), а многие лодочные моторы и газонокосилки до сих пор запускаются с помощью намотанного на вал шнура. Но в современных автомобилях давно привычным стал *автоматический стартер*, работающий от аккумулятора.

Первые имевшие практическое значение автомобили, независимо друг от друга, построили два немецких инженера — Г. Даймлер и К. Бенц. Но по-настоящему автомобиль стал общедоступным средством передвижения лишь в результате развития массового производства.

Пионером в деле массового производства выступил Э. Уитни, который больше известен как изобретатель хлопкоочистительной машины. В 1789 году он получил от правительства США заказ на производство армейских винтовок. До того времени их собирали вручную — каждую из своего комплекта деталей. Уитни пришла в голову мысль сделать детали стандартными, чтобы одна деталь могла подойти для любой винтовки. Эта простая идея стала поворотом в массовой индустрии. Появление нового поколения мощных механизмов и машин дало возможность штамповать стандартные детали в неограниченном количестве.

Первым наиболее широко внедрил этот принцип в жизнь американский предприниматель Г. Форд. В 1892 году он сконструировал свой первый автомобиль с двухцилиндровым двигателем, а в 1899 году уже работал главным инженером в Детройтской автомобильной компании. Его фирма хотела наладить выпуск автомобилей по заказу обеспеченных покупателей. Но Форд решил иначе: в 1902 году он занялся собственным бизнесом — массовым производством общедоступных автомобилей. В 1909 году он приступил к сборке модели «Форд-Т», а в 1913 году внедрил конвейер, на котором собиралась одна машина за другой по одной технологической схеме из одинаковых деталей.

Форд понял, что производительность труда можно резко повысить, если каждый рабочий будет выполнять определенную операцию. Другой американский предприниматель С. Колът (который изобрел знаменитый шестизарядный револьвер) первые шаги в том же направлении сделал еще в 1847 году. А в 1900 году по его стопам пошел владелец автозавода Р. Олдс, но быстро разорился. Форд сумел первым воплотить эту идею, добившись процветания своего бизнеса. Основой всего процесса стала сборочная конвейерная линия, по которой мимо сборщиков двигались стандартные узлы и детали, а в конце непрерывно сходили готовые автомобили. У этой системы было два главных преимущества: высокая зарплата самих рабочих и до смешного низкая цена готового автомобиля.

В 1913 году завод Форда выпускал 1000 автомобилей «Форд-Т» ежедневно. За все время существования этого конвейера (вплоть до 1927 года) с него сошло более 15 миллионов машин, а цена упала до 290 долларов за автомобиль! Но со временем появилось желание заменить старую модель новой, и Форд включился в гонку за более комфортабельные автомобили, которые стоили дороже и не могли стать такими массовыми, как первая конвейерная модель.

В 1892 году немецкий инженер-механик Р. Дизель предложил оригинальную модификацию двигателя внутреннего сгорания, которая была проще и экономичнее. В таком моторе использовалась топливно-воздушная смесь, которая воспламенялась под высоким давлением без системы зажигания. Дизельный двигатель мог работать на топливе, которое не вызывает детонации. Из-за режима высокого давления конструкция таких двигателей должна иметь большую прочность, поэтому они тяжелее и больше по размерам. В 1920-х годах была разработана система автоматического впрыска топлива, которая получила широкое применение в двигателях на грузовиках, тракторах, автобусах, кораблях и локомотивах.

Улучшение качества бензина также существенно повысило эффективность двигателей внутреннего сгорания. Бензин представляет собой смесь различных углеводородов, одни из которых сгорают быстрее других. Слишком быстрое сгорание может вызвать детонацию и быстрое разрушение двигателя. Умеренный режим сгорания делает работу двигателя более плавной.

Качество бензина определяется его *октановым числом*, которое указывает процентное объемное содержание изооктана в его смеси с н-гептаном, которая обладает такими же детонационными характеристиками горения, как испытуемый бензин. Чем выше октановое число, тем более качественным считается углеводородное топливо.

Постоянно увеличивается такой важный параметр двигателей внутреннего сгорания, как степень сжатия, которая создается в цилиндре перед воспламенением топливно-воздушной смеси. Повышенная компрессия может привести к детонации, поэтому в таких моторах предпочтительнее использовать высокооктановые сорта бензина.

Добавление в топливо специальных химикатов снижает риск детонации. Наиболее эффективной «противоударной добавкой» является тетраэтил-свинец, который впервые был использован в 1925 году. Бензин с такой добавкой носит название этилированный. Чтобы тетраэтил-свинец не мог вывести двигатель из строя, в бензин дополнительно вводят этиленбромид, образующий при реакции с тетраэтил-свинцом бромид свинца, который при температуре сгорания топливной смеси выводится наружу вместе с выхлопными газами.

Качество дизельного топлива определяется по *цетановому числу*, которое численно равно процентному содержанию цетана в его смеси с α -метилнафталином. Цетановое число характеризует воспламенительные свойства дизельного топлива.

Самый большой триумф двигателя внутреннего сгорания связан с авиацией. Уже в конце XIX века человек сумел осуществить свою самую заветную мечту — начиная с античной легенды о

Дедале и Икаре — подняться на крыльях в небо. Вначале появились планеры, первый из которых построил английский изобретатель Дж. Кейли в 1853 году. Однако этот хрупкий аппарат мог поднять только мальчика. Конструктор первого настоящего планера немец О. Лилиенталь разбился в 1896 году во время полета. Настало время для постройки «самолетных» аппаратов.

Американский физик и астроном С. Лэнгли в 1902—1903 годах предпринял несколько неудачных попыток подняться в воздух на планере с двигателем внутреннего сгорания. И если бы у него не закончились денежные средства, то очередная попытка вполне могла оказаться успешной. Но честь первого полета принадлежит братьям Райт, которые выпускали велосипеды, а в качестве хобби занимались планеризмом.

Итак, 17 декабря 1903 года в Китти-Хок (штат Северная Каролина, США) братья Райт впервые оторвались от земли, поднялись в небо на планере, который был снабжен мотором с пропеллером, и продержались в воздухе 59 секунд, пролетев 259 метров! Это был первый полет в истории человечества, но в тот момент это событие осталось практически незамеченным.

Большой интерес вызвал их следующий полет протяженностью 37 километров, а также достижение французского инженера Л. Блерио, который в 1909 году перелетел на самолете через Ла-Манш. Во время Первой мировой войны бипланы стали использоваться для разведки, связи и даже бомбардировок позиций неприятеля. После окончания войны немецкий инженер Г. Юнкерс спроектировал моноплан, который имел строгий и обтекаемый силуэт без лишних деталей. А в 1939 году американский инженер, уроженец России, И. Сикорский сконструировал многомоторный самолет, а также первый вертолет, летательный аппарат с вращающимися сверху винтами, благодаря которым он мог передвигаться вверх-вниз и даже зависать в воздухе.

Но в начале 1920-х годов самолет, став новым чудовищным средством для ведения войны, служил и для акробатических полетов. Авиация начала приобретать свои современные очертания и значение после беспосадочного перелета Ч. Линдберга из Нью-Йорка в Париж в 1927 году. Весь мир замер от восхищения, после чего наступила эпоха строительства больших и безопасных самолетов.

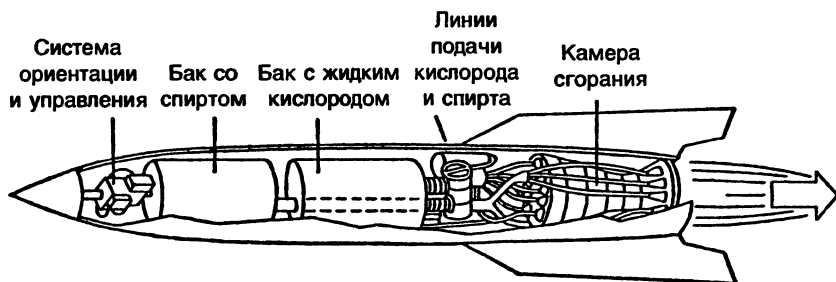
Для решения транспортных проблем в конструкцию авиационных моторов были внесены два важных изменения. Первое из них касалось внедрения газотурбинных двигателей. В таком моторе горячий и быстро расширяющийся газовый поток, образующийся при сгорании топлива, приводит во вращение турбинное колесо. Такой двигатель сам по себе довольно прост, дешев и не так уязвим для различных внешних факторов. Но для его изготовления требуются специальные сплавы, способные выдерживать очень высокие температуры. И такие сплавы были получены в

1939 году. С этого времени «турбовинтовые» лайнеры, у которых турбина вращала пропеллер, завоевали огромную популярность во всем мире и долгое время оставались главным видом транспортной авиации.

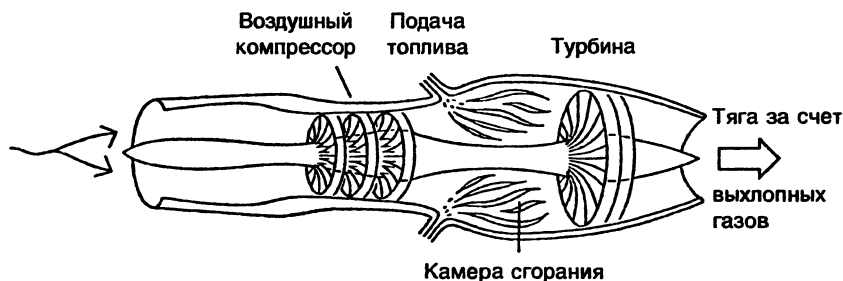
В наше время их практически вытеснили, особенно для перелетов на дальние расстояния, более совершенные реактивные двигатели. В принципе движущую силу такого мотора можно сравнить с полетом воздушного шарика, когда его надули, но не завязали впускное отверстие, и он летит, движимый струей вылетающего наружу воздуха. Это можно считать наглядной иллюстрацией принципа «действие—противодействие», аналогично тому, как вылетевшая из ствола пуля вызывает отдачу всего ружья назад. В реактивном двигателе газы продукты сгорания, имеющие высокую температуру и вылетающие под большим давлением, толкают самолет в направлении, противоположном реактивной струе. Точно по такому же принципу движется и ракета.

Патент на «реактивную силовую установку» был выдан французскому инженеру Р. Лорину еще в 1913 году, но долгое время он не имел абсолютно никакого практического значения для воздухоплавания. Дело в том, что реактивная установка становится экономически выгодной начиная со скорости более 400 миль/ч. В 1939 году англичанин Ф. Уиттли поднял в воздух первый реактивный истребитель, а уже в 1944 году реактивные самолеты Великобритании и США успешно боролись в английском небе с беспилотными немецкими бомбардировщиками «V-I», начиненными мощной взрывчаткой.

После Второй мировой войны сразу в нескольких странах появились сверхзвуковые реактивные самолеты. Скорость звука определяется упругостью и подвижностью воздушных молекул. Когда самолет достигает этого критического предела, молекулы воздуха, если можно так выразиться, не успевают «отскочить» с пути летательного аппарата, нагрузки на который резко возрастают. Существует так называемый «звуковой барьер», и некоторое время даже считалось, что его невозможно преодолеть без риска разрушить са-



Простейший жидко-топливный ракетный двигатель



Турбореактивный двигатель. Засасываемый внутрь воздух сжимается и смешивается с распыленным топливом, после чего топливная смесь попадает в камеру сгорания, где поджигается. Вылетающий из камеры газовый поток вращает турбину, в результате чего возникает мощная реактивная тяга

молет. Однако испытания в аэродинамической трубе позволили найти способ решить эту сложную проблему, и в октябре 1947 года американский ракетоплан «Х-1» под управлением Ч. Йегера преодолел этот звуковой барьер: впервые человек сумел обогнать звук. Благодаря огромной скорости сверхзвуковых реактивных истребителей за всю корейскую войну (1950-е годы) было сбито лишь считанное количество таких машин.

Соотношение скорости сжимаемого газа и скорости звука (740 миль/ч при 0 °С) носит название *число Маха*, в честь австрийского физика и философа Э. Маха, который в XIX веке открыл и исследовал ударные волны. В 1960-х годах была достигнута скорость, в 5 раз превышавшая скорость звука. Это было сделано в США на экспериментальном ракетоплане «Х-15», и, хотя такая огромная скорость поддерживалась лишь короткое время, его пилотов — по уровню перенесенных перегрузок — вполне можно сравнить с космонавтами. Когда сверхзвуковой самолет (число Маха выше 1) преодолевает звуковой барьер, перед ним слышится мощный хлопок, сопровождаемый ударной волной. Если такое событие произойдет достаточно близко от земли, то ударная волна от такого хлопка может вызвать эффект звуковой бомбы, чреватый серьезными разрушениями и даже гибелью людей.

Радио

В 1888 году Г. Герц провел свои знаменитые эксперименты по обнаружению радиоволн, существование которых на 20 лет ранее предсказал Дж. Максвелл (см. главу 7). Он поочередно подавал переменный ток высокого напряжения и высокой частоты на два металлических шара, разделенные небольшим воздушным зазо-

ром, но связанные между собой индукционной катушкой. Всякий раз при достижении критического потенциала между шарами проскакивала электрическая искра. В этих условиях, согласно уравнениям Максвелла, должно возникать электромагнитное излучение. В качестве детектора Герц использовал приемник, состоящий из проволочной петли с небольшим воздушным промежутком на конце. Герц однозначно показал, что слабые искровые разряды наблюдаются в воздушном промежутке петли детектора, даже когда тот отодвигался на несколько метров от излучателя.

Передвигая свой детектор в различные точки комнаты, Герц сумел определить форму этих волн. Места, где искры были наиболее яркими, соответствовали либо пикам, либо впадинам электромагнитных волн. Там, где искр не было, волны имели нулевую амплитуду. Таким способом ученый сумел измерить длину волн этого нового излучения. Они оказались намного длиннее световых волн.

В течение следующих 10 лет многие исследователи обнаружили, что *волны Герца* можно использовать для передачи сообщений из одного места в другое, поскольку эти длинные волны легко огибают препятствия. В 1890 году французский физик Э. Бранли изготовил более чувствительный приемник, заменив проволочную петлю стеклянной трубкой, заполненной металлическими опилками, в которых он разместил выводы проводов от электрической батареи. Опилки не проводили электрический ток до тех пор, пока в трубке не индуцировалось высокое переменное напряжение (по предложенному Герцем способу). Такой приемник улавливал волны Герца даже на расстоянии более 150 ярдов. Затем английский физик О. Лодж усовершенствовал этот прибор, добившись приема сигналов Морзе, переданных с расстояния 0,5 мили.

Итальянский инженер Г. Маркони добился еще более высоких параметров этой передающей системы, заземляя по одному выводу у генератора и приемника, а вторые их выводы соединяя с антенной из провода. С помощью мощного генератора Маркони сумел сначала передать сигнал на расстояние 9 миль (1896 г.), потом — через Ла-Манш (1898 г.) и, наконец, через Атлантику (1901 г.). Так на свет появился *беспроволочный телеграф*, как говорят англичане; по-американски *радиотелеграф*, или просто *радио*¹.

Маркони также разработал систему подавления статических шумов других источников и способ выделения нужной радиоволны. За свои изобретения Маркони совместно с немецким физиком К. Брауном, который также известен своими разработками в

¹ Раньше Маркони подобные опыты провел русский инженер А. Попов, добившийся устойчивой радиосвязи из Кронштадта с морским эсминцем, находящимся в Балтийском море. Однако он не запатентовал свое изобретение. Попов впервые продемонстрировал свой прибор 7 мая 1895 г., Маркони подал заявку на патент 2 июня 1896 г. (*Примеч. пер.*)

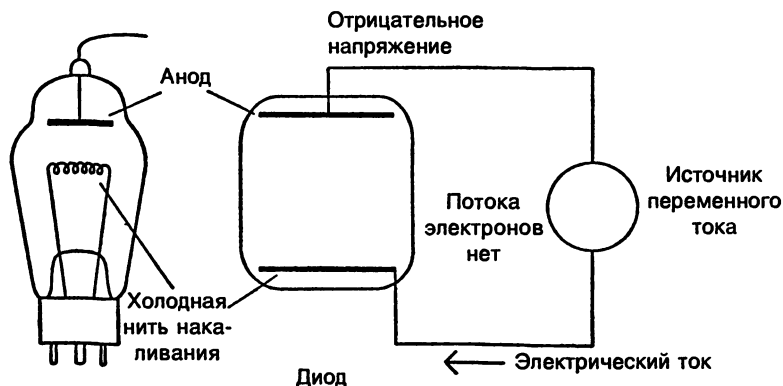
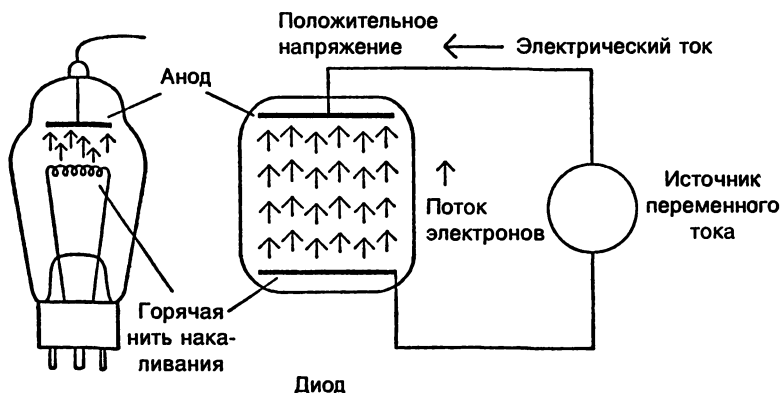
области радио, были награждены Нобелевской премией по физике за 1909 год.

Американский физик Р. Фессенден предложил специальный высокочастотный генератор (позволивший отказаться от первоначального способа искровых разрядов) и систему *модуляции* радиоволн, при которой их стало можно воспроизводить в виде звуковых волн. Модуляция касалась изменения амплитуды (высоты) волн; поэтому такой способ называли *амплитудная модуляция*, который сейчас больше известен как АМ-радио. В канун нового, 1906 года по радио впервые зазвучала человеческая речь и музыка.

Первые поклонники радиопередач часами просиживали у своих приемников, вслушиваясь в слабые сигналы из наушников. Срочно требовались средства усиления радиосигнала, и решение пришло от Эдисона, который впервые в своей биографии сделал «чисто научное» открытие.

В одном из своих экспериментов в 1883 году, пытаясь усовершенствовать конструкцию электролампы, Эдисон впаял металлическую проволочку в ламповую колбу рядом с нитью накаливания. Когда он зажег лампочку, к его удивлению, электрический ток потек от раскаленной нити накаливания к впаянной проволоке, пробивая воздушный промежуток. Поскольку этот эффект не отвечал основной цели его опытов, Эдисон, будучи практичным человеком, описал его в рабочем журнале и забыл. Однако значение эффекта Эдисона выявилось после открытия электрона, когда стало ясно, что пробой воздушного зазора вызван электронным потоком через него. В 1900—1903 годах британский физик О. Ричардсон экспериментально показал, что вблизи раскаленной нити накаливания, помещенной в вакуум, электроны буквально «кишат». За свои опыты он был удостоен Нобелевской премии по физике за 1928 год.

А в 1904 году инженер-электрик Д. Флеминг нашел эффекту Эдисона блестящее применение. Он окружил нить накаливания электролампы металлическим электродом (анодом). Если на электрод-анод подать положительное напряжение, он притягивает электроны, вылетающие из нити накаливания — катода, приводя к возникновению электрического тока между катодом и анодом. Однако, если на анод подать отрицательное напряжение, он отталкивает от себя электроны и ток прекращается. Можно анод подсоединить к источнику переменного тока. Когда ток течет в одном направлении, на аноде положительное напряжение и устройство проводит через себя электрический ток; когда же ток меняет направление, на аноде отрицательное напряжение и ток прекращается. В результате переменный ток превращается в постоянный. Таким образом был создан вакуумно-ламповый диод, который работает по принципу клапана электрического тока, поэтому в Британии диод так и окрестили. В США его долгое время называли трубкой. Но в конце кон-



Принцип работы вакуумно-лампового диода

цов ученые пришли к «общему знаменателю», назвав новое устройство *диодом* (из-за наличия двух электродов: анода и катода).

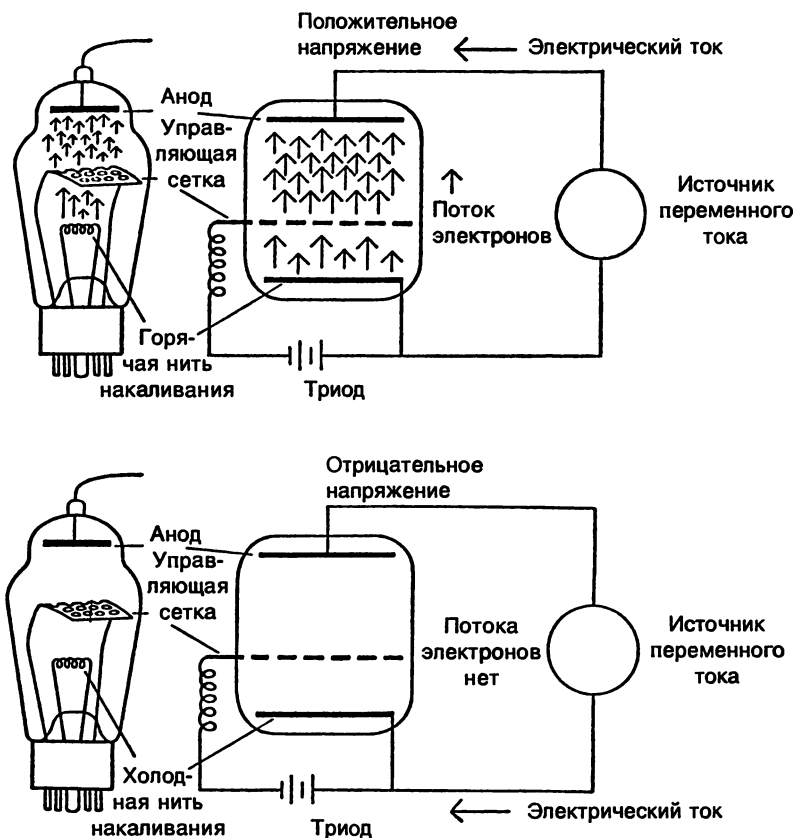
Диод в радио играет роль «выпрямителя», превращая переменный ток в постоянный. В 1907 году американский изобретатель Ли Де Форест сделал еще один шаг вперед. Он поместил в электронную трубку третий электрод, создав первый *триод*. Этот дополнительный электрод, названный *сеткой*, управляет электронным потоком между катодом и анодом. Сетка притягивает электроны, вылетающие из катода, к аноду (электроны свободно пролетают сквозь отверстия в сетке). Поэтому даже небольшая энергия, которая переносится радиоволнами, вызывает резкое увеличение потока электронов, зеркально отражая переменную модуляцию радиоизлучения. Другими словами, триод работает как *усилитель*. Триод и еще более сложные электронные лампы стали компонентами не только радиоприемников, но и самых разнообразных электронных приборов.

Оставался всего один шаг в этом направлении, чтобы радио стало средством массовой коммуникации. Во время Первой мировой войны американский инженер Э. Армстронг разработал устройство для понижения частоты радиоволн. Вначале оно предназначалось для определения положения самолетов, но после войны нашло широкое применение в радиоприемниках. «Супергетеродинный приемник» Армстронга обеспечил возможность точно и быстро настраиваться на нужную длину волны простым поворотом диска. В 1921 году первые радиотрансляции начались в Питтсбурге (США). За короткое время появилось много новых радиостанций, поскольку упрощенная система настройки и регулирования уровня звука сделала радио очень популярным. А уже в 1927 году благодаря радио появилась возможность разговаривать по телефону через океан.

Однако еще оставалась проблема статических шумов. Системы настройки, разработанные Маркони и его последователями, снизили до минимума уровень шумов от грозы и других подобных источников, но не смогли устранить их. Армстронг нашел решение и этой задачи. Вместо амплитудной модуляции, которая была чувствительна к помехам со стороны посторонних источников электромагнитных волн, он предложил использовать частотную модуляцию, то есть сохранить амплитуду принимаемых радиосигналов постоянной, а вместо этого модулировать частоту передаваемых в эфир радиоволн. В том случае, когда амплитуда звуковой волны имела большую величину, передатчик понижал ее частоту, и наоборот. Частотная модуляция (FM) позволила практически полностью избавиться от статических помех, что вызвало во второй половине XX века огромную популярность радиопередач на FM-диапазоне, прежде всего транслирующих классическую музыку.

Точно так же, как звуковые фильмы пришли на смену немому кино, за радио последовало изобретение телевидения. Сначала изображение передавалось по проводам после преобразования в электрические сигналы. Узкий световой луч проходил через изображение на фотопленке, за которой располагалась фотоэлектронная лампа. Там, где плотность фотоизображения была выше, генерировался слабый фототок, а в более светлых местах ток усиливался. Луч света последовательно «считывал» изображение — слева направо, строку за строкой, охватывая изображение в результате целиком. Далее эти электрические сигналы передавались по проводам в нужные места, где специальный приемник их расшифровывал, переводя в исходную визуальную форму. В 1907 году обмен «проводными фотографиями» происходил между Лондоном и Парижем.

Телевидение передает не просто фотографии, а «движущиеся картинки», как «живые» (передаваемые телекамерой), так и записанные на пленке. Такая передача должна осуществляться с очень



Принцип работы триода

высокой скоростью, а значит, сканирование должно проводиться мгновенно. Черно-белые кадры превращаются в набор электрических импульсов с помощью камеры, где вместо фотопленки используется фоточувствительный излучатель электронов.

Впервые прием телевизионных сигналов продемонстрировал шотландский изобретатель Д. Бэрд. Однако первую телевизионную камеру, пригодную для практического использования (так называемый «иконоскоп»), изобрел и запатентовал американский инженер, уроженец России, В. Зворыкин в 1938 г. Задняя стенка иконоскопа была покрыта тонким слоем серебрено-цезиевого сплава. По мере того как по задней стенке перемещался сфокусированный световой луч, каждая точка испускала электроны — и тем больше, чем выше интенсивность светового сигнала. Позднее на смену иконоскопу пришел «изобразительный ортискон», в котором серебрено-цезиевый экран был настолько тонок, что

пролетающие через него электроны достигали тонкой стеклянной пластинки, из которой выбивались еще большие потоки электронов. Такое усиление значительно повышает светочувствительность телекамеры, что избавляет от необходимости использовать для съемки слишком мощное освещение.

Сам телевизионный приемник представляет разновидность катодно-лучевой трубки. Электронный поток от нити накаливания (*электронная пушка*) ударяется в экран, который покрыт слоем флуоресцентного вещества и светится пропорционально интенсивности потока электронов. Одна пара электродов контролирует перемещение электронного пучка слева направо, а другая пара электродов — после прохода очередной строчки — передвигает его в ближайший горизонтальный ряд. Строки размещаются с максимально достижимой плотностью (несколько сотен на экран), а полная «раскраска» экрана световым лучом занимает $\frac{1}{30}$ секунды. Таким образом, за одну секунду телеэкран выдает до 30 кадров. В каждое из этих плотно сжатых мгновений на экране отображается не более одного варианта неподвижной картинки, однако благодаря инерционности нашего зрительного восприятия мы фиксируем не застывшие изображения, а непрерывный ряд действий и движений.

Первые экспериментальные телевизионные сеансы были организованы еще в 1920-х годах, но по-настоящему телевидение вошло в практику и приобрело коммерческое значение лишь в конце 1940-х годов. С этого времени оно постепенно превратилось в главное средство информации и развлечений.

1950-е годы были отмечены двумя важными усовершенствованиями в этой области. Благодаря использованию трех последовательных слоев флуоресцентного покрытия, чувствительных к зеленому, красному и синему цветам спектра, появились телеприемники цветного изображения. И наконец, было изобретено видео, запись подвижного изображения на магнитную пленку (наподобие записи звуковой дорожки на киноленте), что дало возможность записывать и воспроизводить различные события и программы с более высоким качеством, чем традиционная киносъемка.

Постепенно электровакуумная трубка, сердце всех электронных устройств, превратилась в сдерживающий фактор технического прогресса. Обычно компоненты устройства подвергаются со временем модификации, в результате чего повышается их эффективность, они становятся легче и компактнее (это называется миниатюризация). Но электронные лампы оказались в роли «бутылочного горлышка» на пути к миниатюризации. И тогда появилось неожиданное решение.

В 1940-х годах несколько ведущих сотрудников телефонной лаборатории Белла (США) проявили повышенный интерес к классу

веществ под названием *полупроводники*. Подобные материалы, например кремний и германий, не очень хорошо проводили электрический ток, поэтому исследователи пытались разобраться в причине этого явления. В ходе проведенных в телефонной лаборатории Белла экспериментов обнаружилось, что проводимость таких материалов резко возрастает при введении в них незначительных примесей некоторых элементов.

Давайте подробнее рассмотрим кристалл германия. Во внешней оболочке каждого атома этого элемента имеется четыре электрона, и в правильной кристаллической упаковке каждый атом германия, окруженный четырьмя своими соседями, имеет в совместном с ними использовании четыре пары внешних электронов (то есть всего восемь), что поддерживает их прочную химическую связь и стабильность. Такая кристаллическая структура аналогична кристаллу алмаза, поэтому германий, кремний и другие сходные элементы называют *веществами адамантинового типа*, от старинного названия алмаза адамант.

Если ввести в такую адамантиновую конфигурацию немного мышьяка, то картина усложнится. Поскольку атом мышьяка имеет во внешней оболочке пять электронов, то его присутствие в кристаллической решетке германия приводит к появлению избыточного электрона. И если к такому кристаллу приложить электрическое напряжение, свободные электроны начнут перемещаться к положительному электроду. Перемещаться они, конечно, будут не так свободно, как электроны в типичном металле, но все-таки кристалл начнет проводить электричество намного лучше, чем такие изоляторы, как стекло или сера.

Попробуем вместо мышьяка добавить к германию немного бора. У атома бора всего три внешних электрона, которые он может передать для совместного использования с тремя соседними атомами германия. Но как быть с электроном, который предлагает четвертый сосед? Такой электрон образует пару с «дыркой». Термин «дырка» абстрактен по своей сути, поскольку обозначает место, где электрон нашел бы партнера в чистом кристалле германия, но которого в реальности не существует. Если теперь к такому кристаллу с дефицитом электронов приложить напряжение, то ближайший электрон, притягиваемый к положительно заряженному электроду, вначале займет соседнюю с ним положительно заряженную дырку. Но после него появится другая свободная дырка, которую сразу займет следующий за ним электрон. В результате такого процесса дырка будет перемещаться к отрицательному электроду — аналогично передвижению электрона, только в противоположном направлении. Короче говоря, вместо электронной появляется «дырочная проводимость».

Чтобы добиться оптимальных результатов, кристалл должен иметь высокую степень чистоты и включать строго определенное количество примесей (например, мышьяка или бора). Германий-

мышьяковые полупроводники, с избытком неспаренных электронов, называют полупроводниками n-типа (от англ. *negative*, что значит «отрицательный»). А германий-борные полупроводники, где роль положительных носителей электричества играют дырки, полупроводники p-типа (от англ. *positive*, то есть «положительный»).

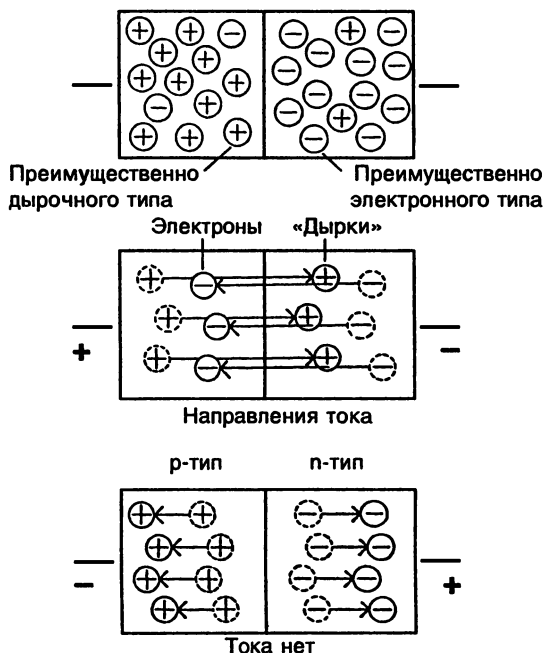
В отличие от обычных проводников электрическое сопротивление полупроводниковых материалов падает с ростом температуры. Это вызвано тем, что с повышением температуры связь электронов с атомами ослабевает и они начинают перемещаться более свободно. (В металлических веществах электроны достаточно свободны при обычной температуре. Поэтому нагрев металлов вызывает лишь усиление беспорядочного движения электронов, затрудняя их перемещение под действием сил электрического поля.) По величине электрического сопротивления полупроводников можно определить более высокую температуру, чем удается измерить обычными методами. Такие полупроводниковые измерители называются *термисторы*.

Но комбинации полупроводниковых материалов обладают гораздо более интересными свойствами. Положим, мы изготовили германиевый кристалл, одна половина которого имеет p-проводимость, а другая обладает n-проводимостью. Если теперь приложить к n-половине отрицательный потенциал, а к p-половине — положительный, то из n-половины электроны начнут перемещаться к положительному электроду, а «дырки» из p-половины — к отрицательному полюсу. Таким образом, через кристалл потечет ток. Если теперь поменять электрические полюса местами, то электроны из кристалла n-типа будут двигаться в направлении положительного полюса, то есть в сторону от p-электрода; аналогично «дырки» из p-кристалла станут перемещаться в сторону от n-электрода. Как результат на стыке (переходе) между двумя электродами образуется дефицит как электронов, так и дырок, что приведет к прекращению электрического тока и «запираанию» кристалла.

Короче говоря, мы получили типичный выпрямитель. Если к выводам такого двойного кристалла подвести переменное напряжение, то он станет пропускать ток лишь в одном направлении и действовать как ламповый диод. Полупроводниковые диоды имеют ряд преимуществ перед ламповыми: они легче, меньше и более ударопрочны и долговечны.

В 1948 году сотрудники телефонной лаборатории Белла сообщили о создании нового прибора — транзистора, который действовал как усилитель электрического сигнала. Это был германиевый кристалл, состоящий из двух половинок n-типа с тонкой прослойкой p-типа между ними. Он действовал аналогично ламповому триоду, в котором роль управляющей сетки выполняла p-прослойка. Такой полупроводниковый триод позволяет контролировать протекание электрического тока большой силы, при-

Граница участков с двумя типами проводимости



Принцип работы полупроводникового диода

кладывая к нему небольшое напряжение. Транзистор p-n-p-типа обладает дырочной проводимостью, а n-p-n-типа — электронной проводимостью.

Однако, как бы хорошо ни показали себя первые опытные транзисторы в лаборатории, их практическое производство и использование требовало принципиально новых технологических решений. (Такая ситуация характерна для прикладной науки.) Эффективность транзисторов определяется чистотой исходных материалов и контролем вводимых микропримесей.

Решению этой задачи очень способствовала очистка твердых материалов зонной плавкой, которую разработал в 1952 году В. Пфанн. В соответствии с разработанной им методикой металлический стержень (например, из германия) постепенно подается в цилиндрическую камеру высокотемпературной печи, где поддерживается температура чуть ниже точки плавления германия, и стержень начинает размягчаться. По мере продвижения стержня к выходу из печи он охлаждается, а зона плавления как бы перемещается в обратном направлении. В результате все примеси скапливаются в зоне плавления, плавно перемещаясь к концу стержня. После проведения нескольких повторных операций по этой схеме получается германий очень высокой чистоты.

При совершенствовании полупроводниковых транзисторов были уменьшены их размеры, материалы (например, фосфид индия и арсенид галлия) и разработаны принципиально новые технологии, дав начало огромной отрасли — электронной индустрии, уровнем развития которой во многом определяется сила любого современного государства. Разумеется, самой значительной областью применения транзисторов остается электронно-вычислительная, или компьютерная, техника.

До начала 1960-х годов все транзисторы, как правило, помещались в пластмассовую или металлическую оболочку. Впоследствии транзисторы заменили интегральными схемами. В настоящее время один крохотный кремниевый элемент в компьютере заменяет несколько сот тысяч транзисторов, соединенных в единую интегральную схему. И это еще не предел.

Помимо полупроводниковых устройств можно отметить и другие примеры удачной миниатюризации. Так, в 1953 году был изобретен простой двухпроводочный механизм, работавший при температуре жидкого гелия. Он действовал как безотказный выключатель: под действием магнитного поля, создаваемого одним проводником, возникала или исчезала сверхпроводимость другого проводника. Выключатели такого типа называются *криотроны*.

Помимо этого стоит упомянуть еще один тип микроустройств, которые состоят из двух слоев тонкой металлической пленки — например, из алюминия и свинца, между которыми имеется слой изолятора — окиси алюминия. В условиях низкотемпературной сверхпроводимости и при достаточно высоком напряжении электрический ток проходит через изолятор, благодаря так называемому «туннельному эффекту». Меняя напряжение, напряженность магнитного поля и температуру, силой этого тока можно управлять с чрезвычайно высокой точностью. Такой «туннельный бутерброд» является еще одним примером электронной миниатюризации.

В качестве показательного примера тесной взаимосвязи различных отраслей науки и техники можно привести тот факт, что развитие ракетостроения, которое имеет дело с огромными энергиями, мощными и тяжеловесными конструкциями, просто невозможно без глубокой и полномасштабной миниатюризации. Потому что вывод в космос каждого грамма груза, включая средства обеспечения полета, инструменты управления и научную аппаратуру, сопряжен с колоссальными затратами.

Мазеры и лазеры

Одно из наиболее ярких и выдающихся изобретений XX века началось с исследования обычной молекулы аммиака (NH_3). По форме это соединение похоже на треугольную пирамиду, верши-

ной которой является атом азота, а в основании лежит равнобедренный треугольник, составленный из атомов водорода.

В результате колебаний молекула аммиака как бы «выворачивается наизнанку»: атом азота пересекает плоскость треугольника в основании пирамиды, переходя на другую сторону и занимая положение симметричное к исходному. Оказалось, что эти колебания совершаются с постоянной частотой — 24 миллиарда раз в секунду.

Период этих колебаний оказался намного более постоянным, чем у любого эталонного источника колебаний, созданного человеческими руками, и даже более устойчивым, чем параметры движения астрономических объектов. Подобные колеблющиеся молекулы можно использовать для контроля над количественными характеристиками электрического тока, используемого для точного измерения временных интервалов и высокоточной сверки эталонных хронометров. Первым такой способ опробовал в 1949 году американский физик Г. Лайонс, а к середине 1950-х годов подобные «атомные часы» вытеснили из сверхточных измерений обычные хронометры. Например, точность работы мазера, созданного в 1964 году и действующего на водороде, не выйдет за пределы одной секунды за 100 000 лет.

Во время колебаний молекулы аммиака создают электромагнитное излучение такой же частоты, 24 миллиарда циклов в секунду. Длина волны такого излучения составляет 1,25 сантиметра, попадая в микроволновый диапазон. Можно взглянуть на это с другой точки зрения: молекула аммиака может занимать один из двух энергетических уровней, разница между которыми определяется энергией фотона с длиной волны 1,25 сантиметра. Если молекула переходит на нижний уровень, она испускает фотон. А в результате поглощения фотона молекула поднимается на верхний уровень.

Но что, если молекула аммония поглотит фотон, уже находясь на верхнем энергетическом уровне? Еще в 1917 году Эйнштейн доказал теоретически, что в этом случае фотон «столкнет» молекулу на нижний уровень, а в результате она испустит фотон точно такой же энергии и в том же направлении, как у первого фотона. Таким образом, появятся сразу два идентичных фотона. В 1924 году эти расчеты были подтверждены экспериментально.

Следовательно, молекула аммония под действием микроволнового излучения может претерпеть два варианта изменений: она может перейти с нижнего уровня на верхний или же вынужденно опустится вниз. В обычных условиях очень малая часть молекул в каждый момент времени находится в возбужденном состоянии.

Предположим, что удалось найти способ, чтобы перевести почти все молекулы на верхний энергетический уровень. В этом случае внешнее микроволновое излучение фотонов приведет к

сталкиванию молекул вниз. При этом выделится второй фотон, который в паре с исходным вызовет вынужденный «спуск» еще одной пары молекул. В результате число фотонов еще раз удвоится и на нижний уровень перескочат уже четыре молекулы и т. д. Таким образом, исходный фотон вызовет фотонную лавину, причем все вновь образовавшиеся фотоны будут абсолютно одинаковы как по энергии, так и по направлению движения.

В 1953 году американский физик Ч. Таунс нашел способ удержания молекул аммония на верхнем энергетическом уровне, затем подверг их облучению микроволнами нужной длины волны, что вызвало вынужденный «обвал» всех возбужденных молекул. Всего нескольких фотонов оказалось достаточно, чтобы вызвать мощный фотонный поток, то есть произошло огромное усиление слабого микроволнового сигнала.

Название этого процесса — усиление микроволн за счет вынужденного излучения — по-английски пишется как *microwave amplification by stimulated emission of radiation*, по первым буквам которого прибор получил название — *мазер*.

Вскоре были созданы твердотельные мазеры, основу которых составляли твердые материалы, электроны в которых могли занимать два возможных энергетических уровня. Первые модели мазеров — как газовые, так и твердотельные — могли работать лишь в нестационарном режиме. Вначале их надо было «накачать», то есть перевести в возбужденное состояние, и только затем можно было «выстрелить» с помощью микроволнового «спуска». Чтобы произвести новый «выстрел», их надо было опять подкачать.

Первым устранить этот недостаток сумел американский физик Н. Бломберген, разработавший трехуровневую схему. Если электроны вещества, выбранного для начинки мазера, могут находиться на каждом из трех уровней — нижнем, среднем и верхнем, — то накачку и вынужденную эмиссию можно производить одновременно. Электроны в результате накачки переходят с нижнего уровня на самый верхний. Одновременно электроны с верхнего уровня при правильном выборе энергии стимулирующих фотонов опускаются на средний уровень. В этом случае для накачки и вынужденного излучения требуются различные по параметрам фотоны, поэтому оба процесса не мешают друг другу. Так был изобретен мазер непрерывного действия.

В качестве микроволнового усилителя мазер сразу нашел применение в радиоастрономии, которая занимается анализом очень слабых радиосигналов из удаленных точек Вселенной. Мазер позволил резко усилить эти микроволны при одновременном сохранении их идентичности исходным сигналам. (Воспроизведение без потери характеристик оригинала означает снижение уровня «шумов». В этом смысле мазер является самым «бесшумным» детектором.) Этот прибор хорошо зарекомендовал себя и для работы в открытом космосе. В частности, мазер, установленный на

советском спутнике «Космос-97» в 1965 году, позволил собрать ценную информацию о Вселенной.

За свою работу Таунс вместе с советскими физиками Н. Басовым и А. Прохоровым, которые изобрели мазер независимо от него, были удостоены Нобелевской премии по физике за 1964 год.

В принципе технология, на которой построена работа мазера, может быть использована для электромагнитного излучения любой длины волны, в том числе и для видимого света. На такую возможность сам Таунс указал еще в 1958 году. Этот световой мазер можно было бы назвать оптическим мазером, однако был выбран другой вариант: «усиление света при помощи вынужденного излучения» (light amplification by stimulated emission of radiation), откуда и появилось название самого прибора — *лазер*, которое в наше время стало весьма привычным.

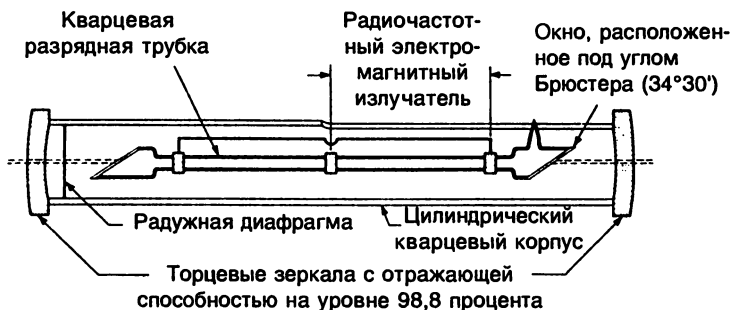
Первую удачную модель лазера создал в 1960 году американский физик Т. Мейман. Он использовал цилиндрический брусок искусственного рубина, состоящий из окиси алюминия с небольшой примесью окиси хрома. Когда этот рубиновый стержень облучается светом, часть электронов хрома перебирается на более высокий энергетический уровень, откуда очень скоро готовы «спрыгнуть» вниз. Достаточно нескольких стимулирующих фотонов с длиной волны 694,3 миллимикрона, чтобы вынудить фотоны из стержня перескочить на нижний уровень, в результате чего рубиновый стержень начинает излучать глубокий красный цвет. Еще до конца 1960 года был разработан лазер длительного действия. Это сделал сотрудник лаборатории Белла, иранский физик А. Джаван, который использовал в качестве «рабочего тела» своего лазера газовую смесь гелия и неона.

Лазер позволил получить световой луч нового вида. Кроме того что испускаемый лазером световой луч был очень ярок, он оказался узкомонохроматичным (со строго определенной длиной волны). Однако это было еще не все.

Обычный свет, который дают различные источники — от лесного костра до солнца и крохотного светлячка, — состоит из относительно коротких порций волн разной длины. Их можно изобразить как небольшие пучки, разлетающиеся в разных направлениях. Обычный свет состоит из бесчисленного набора таких пучков.

Лазерный свет, возникающий в результате вынужденного излучения, состоит из фотонов с одной длиной волны и движущихся в одном направлении. Это значит, что все испускаемые лазером световые волны имеют одинаковую частоту. Поэтому излучение такого типа называется *когерентным* (от лат. *coherentia*, что значит «сцепление, связь»).

Конструкция лазера построена таким образом, чтобы усилить движение образующихся фотонов в одном направлении. Оба торца рубинового стержня тщательно обработаны, отполированы и



Лазер длительного действия с вогнутыми зеркалами и окнами Брюстера на торцах разрядной трубки. Трубка заполнена газом, атомы которого в результате электромагнитного возбуждения переходят на уровни с более высокой энергией. Далее — под действием светового луча — эти атомы вынужденно излучают фотоны строго определенной энергии. Внутреннее резонансное пространство лазера работает, как труба органа, быстро усиливая потоки когерентных волн, мечущихся между двумя зеркалами.

Тонкий луч на выходе из прибора является лазерным излучением.

Рисунок взят из журнала «Science» (9 окт. 1964 г.)

покрыты тонким слоем напыленного серебра, играющего роль плоского зеркала. Испускаемые рабочим телом фотоны перелетают взад и вперед, вызывая с каждым прохождением все более мощные потоки до тех пор, пока интенсивность генерируемого излучения не окажется достаточной, чтобы проскочить сквозь более тонкое из двух полупрозрачных зеркал. Этот выскочивший «на свободу» световой луч состоит из тех фотонов, которые лавинообразно испускались параллельно оптической оси рубинового стержня и в результате отскока от зеркал перелетали взад-вперед, оттапливаясь от торцевых зеркал. Если некоторые фотоны с той же энергией по какой-то причине слегка отклонятся от этого «генерального» направления, это приведет к изменению траектории фотонного потока, он выскочит через боковую поверхность стержня наружу и будет потерян.

Лазерный луч состоит из когерентных волн, которые настолько параллельны между собой, что могут передаваться на большие расстояния без существенного расхождения в конечной точке. С помощью точно сфокусированного луча можно подогреть кофейник на расстоянии нескольких тысяч миль. В 1962 году лазерный луч даже достиг Луны, образовав на лунной поверхности пятно диаметром чуть более 2 миль.

Лазеры и лазерные технологии привлекли огромное внимание не только исследователей. Всего за несколько лет были разработаны новые модели световых генераторов, дающих лазерные лучи сотен различных длин волн — от ультрафиолетовой до инфракрасной области спектра.

В качестве рабочего тела лазеров использовались самые различные материалы: окиси металлов, фториды, вольфраматы, полупроводниковые кристаллы, всевозможные газы и жидкости. При этом у каждой конструкции были свои достоинства и недостатки.

В 1964 году появился и первый *химический лазер*, который изготовил американский физик Дж. Каспер. В таком лазере источником энергии является химическая реакция (в данном конкретном случае это была фотодиссоциация CF_3I). Преимущество химического лазера состоит в том, что он работает на энергии, которая вырабатывается в самом устройстве, и поэтому не нуждается во внешнем источнике энергии.

Первые *органические лазеры* — генераторы, дающие когерентное излучение с помощью органических красителей, — были изобретены в 1966 году, авторы этого открытия Д. Лэнкард и П. Сорокин. Сложное устройство органических молекул делает возможными самые разнообразные переходы электронов во время химических реакций, следовательно, самые различные длины когерентных волн. С помощью одного и того же органического лазера, в отличие от других моделей, можно при желании «настроиться» на любую нужную волну.

Узкая форма лазерного пучка означает, что имеется возможность сконцентрировать огромную энергию практически в одной точке и довести температуру этого крохотного участка до очень высоких значений. С помощью лазерного луча можно испарять образцы металлов для спектрального экспресс-анализа, резать, сваривать и делать отверстия любой формы в самых твердых и тугоплавких материалах. С помощью лазера удастся восстановить отслоившуюся сетчатку глаза, не затрагивая соседних тканей, уничтожить раковые опухоли, проводить сверхтонкие операции на сосудах и многое другое.

Чтобы проиллюстрировать всю широту диапазона практического использования лазеров, приведем два примера. Во-первых, А. Шолоу изобрел довольно простой (но очень эффективный) лазер для удаления уже напечатанного на бумаге текста. Этот «электронный ластик» позволяет моментально испарить краситель, не оставляя никаких следов на бумаге. Другим примером возможностей лазера можно считать изобретение лазерного интерферометра, позволяющего производить сверхточные измерения. С помощью подобных приборов удастся контролировать малейшие сдвиги земной коры: результирующая интерференционная диаграмма позволяет зафиксировать изменения с точностью до 1×10^{-10} процентов! Первые люди, высадившиеся на Луне, установили там лазерный отражатель, предназначенный для точного измерения расстояния до нашего естественного спутника с помощью лазерного сигнала с Земли.

Еще одно важное направление использования лазера — это средства связи и коммуникации. Благодаря тому что частота ко-

герентного лазерного излучения намного выше аналогичного параметра радио- и телеволн, появляется возможность разместить многие тысячи современных каналов связи в узком пространственном диапазоне, который сейчас занимает один традиционный радиоканал. В перспективе у каждого жителя нашей планеты будет свой личный канал связи. Конечно, для этого лазерный луч, как и радиосигнал, придется модулировать. Переменные электрические сигналы, производимые звуковыми волнами, предстоит превратить в модулированное лазерное излучение (либо за счет изменения его амплитуды в соответствии с частотой, либо простым включением и выключением света), на основе которого, в свою очередь, будут получены переменные электрические сигналы в той точке, куда был отправлен луч. Такие экспериментальные системы связи в некоторых странах уже используются.

Поскольку для волн светового диапазона, в отличие от радиоволн, такие объекты, как облака, туман, смог и пыль, являются существенной помехой, возможно, придется направлять лазерный луч по специальным трубопроводам, снабженным линзами (для деконцентрации лазерного пучка через определенные интервалы) и зеркалами (чтобы огибать препятствия). Кроме того, уже создан лазер, работающий на окиси углерода, который генерирует инфракрасный лазерный луч такой мощности, что тот без помех проходит сквозь земную атмосферу.

Еще один и, пожалуй, наиболее привлекательный для многих людей вариант применения лазера касается абсолютно нового вида фотографического изображения. В традиционной фотографии отраженный от объекта луч света попадает на фотопленку, где и фиксируется. В результате получается просто поперечный световой разрез, который никакой другой потенциальной информации не содержит.

Теперь представим, что луч света разбит на две части. Одна часть направляется на объект, претерпевая соответствующие искажения за счет внешних особенностей этого объекта. А вторая часть отражается от зеркала и никаким искажениям не подвергается. После этого обе части встречаются на фотопленке, которая запечатлевает интерференционную картину, возникающую в результате взаимного наложения волн различной длины. По теории этот интерференционный отпечаток должен содержать все данные по каждому из двух световых пучков. Проявленный кадр, на котором записана эта интерференционная картина, внешне выглядит пустым, однако если пленку рассматривать на просвет, то на ней окажется изображение, несущее полный набор информации. При этом само изображение получается трехмерным, как, собственно, и снимаемый объект, отразивший этот световой луч. Рассматривая это изображение под разными углами, можно получить варианты обычной, «плоской», фотографии и одновременно заметить изменения, связанные с эффектом перспективы.

Первым об этом эффекте сообщил в 1947 году англичанин Д. Габор, который пытался разработать метод повышения контрастности изображения, получаемого с помощью электронного микроскопа. Он же придумал и название для этого способа — *голография* (что по-латыни значит «полное письмо»).

Долгое время идея Габора имела лишь теоретическое значение, и ее не удавалось осуществить на практике, поскольку обычный свет для этой цели не подходил. Когда свет состоит из волн различной длины и движущихся в самых разных направлениях, получающаяся при наложении двух лучей интерференционная картина настолько хаотична и размыта, что не несет никакой информации. Это все равно что наложить друг на друга миллион размытых негативов, которые слегка смещены относительно друг друга.

Появление лазера изменило ситуацию. И в 1965 году Э. Лейт и Ю. Упатниекс из Мичиганского университета (США) смогли получить первые голограммы. С тех пор голографическая техника продвинулась далеко вперед: заметно выросло их качество, появились цветные голографические снимки, а сами голограммы теперь можно рассматривать при обычном свете. Такие объемные голограммы внесли, выражаясь литературным языком, дополнительное «измерение» в биологические исследования, криминалистику, археологию и многие другие отрасли науки и культуры.

Глава 9 **РЕАКТОР**

Расщепление ядра

Быстрые темпы научно-технического развития в XX веке вызвали ощутимый недостаток энергетических ресурсов. По мере того как к развитым индустриальным государствам постепенно приближаются другие народы, а земное население уже перевалило за 6 миллиардов, потребление традиционных видов топлива постоянно возрастает. Где же человек может отыскать новые источники энергии, чтобы обеспечить будущее земной цивилизации?

Мы уже упоминали, что большая часть лесов на земле истреблена. Дерево было первым видом топлива для человечества. К началу христианской эры почти вся Греция, Северная Африка и Ближний Восток лишились своих лесных массивов, пошедших на топливо или вырубленных под поля и пастбища. В результате многолетней и бесконтрольной вырубki не просто исчезли деревья, но и упало плодородие почв. Большая часть территорий, на которых когда-то могли прокормиться наиболее развитые древние культуры, превратились в пустынные и бесплодные районы, населенные кочевниками и бродягами.

Уже в Средние века произошла грандиозная вырубка лесов в Западной Европе, а сейчас мы являемся свидетелями еще более быстрого уничтожения деревьев в Северной Америке. Фактически на земле почти не осталось нетронутых лесных массивов, кроме Сибири и Канады.

Трудно представить, что рано или поздно человек может остаться вообще без древесины. Ведь лес дает строительные материалы, а также сырье для бумаги и химической промышленности.

Что касается топлива, древесину заменили уголь и нефть. Каменный уголь упоминается еще греческим ботаником Теофрастом в 200 году до нашей эры, но первые свидетельства об угольных шахтах в Европе появляются лишь в XII веке. А к XVII веку Англия, почти оставшись без лесов и испытывая острую нужду в корабельной древесине, стала переходить на уголь в качестве топлива, что послужило одним из толчков для промышленной революции.

Постепенно такой сдвиг произошел повсеместно. Так, в 1800 году древесина составляла 94 процента в общем объеме топлива, потребляемом молодыми США. К 1885 году ее доля снизилась до 50 процентов, а к середине XX века упала до 3 процентов. Более того, за это время топливный баланс сместился от угля к нефти и природному газу. В 1900 году в США уголь давал в 10 раз больше энергии, чем нефть и газ, вместе взятые, а полвека спустя доля угля снизилась до одной трети от потребления нефти и газа. Уголь, нефть и газ относятся к ископаемым видам топлива. Поэтому бесконтрольное потребление таких невозпроизводимых ресурсов является бесспорным расточительством.

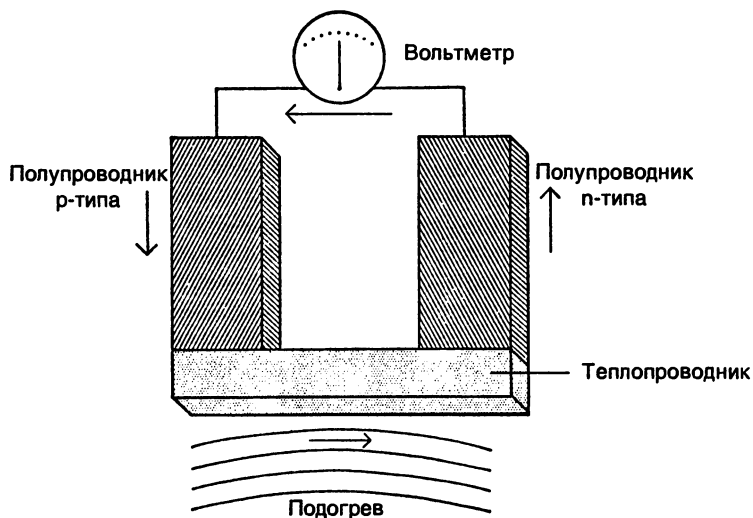
Особенно быстро расходуются запасы нефти, потребление непрерывно растет. Оставшиеся запасы нефти оцениваются примерно в 200 миллиардов т; предполагают, что к 1980 году добыча нефти достигнет своего пика и начнет постепенно снижаться. Существуют способы получения искусственной нефти, например путем обработки более распространенного каменного угля водородом под давлением. Первым этот процесс разработал немецкий химик Ф. Бергиус в 1920-х годах, за что и был удостоен Нобелевской премии по химии за 1931 год. Земные запасы каменного угля оцениваются примерно в 7 триллионов тонн, однако не все месторождения одинаково доступны. И к XXV столетию эти ресурсы также подойдут к концу.

Поэтому приходится искать новые источники энергетического сырья. Возможно, нас ждут новые месторождения нефти и угля в таких мало разведанных районах, как Австралия, Сахара или Антарктика. Кроме того, интенсивно разрабатываются и осваиваются новые технологии добычи угля из тонких и глубоких пластов, а также нефти из морских месторождений.

Нет сомнения в том, что будут разработаны принципиально новые, более эффективные способы использования ископаемых видов

топлива. Традиционный многоступенчатый процесс, когда топливо сжигают, чтобы получить водяной пар, который направляется на вращение турбины генератора, вырабатывающего электричество, сопряжен с огромными потерями энергии. Большой части этих потерь можно избежать, если научиться превращать тепло непосредственно в электричество. Первым возможность такого процесса обнаружил немецкий физик Т. Зеебек в далеком 1823 году. Плотное соединение проводов двух разных металлов в замкнутую цепь и нагрев места стыка, он заметил, как дрогнула стрелка находившегося рядом компаса. Это означало, что под действием тепла в цепи возник электрический ток (*термоэлектричество*). Однако сам автор неверно истолковал результаты собственного опыта, и о его открытии надолго забыли.

Однако с появлением полупроводниковых материалов и технологий забытый эффект Зеебека снова привлек внимание ученых. В результате были разработаны термоэлектрические устройства на основе полупроводниковых материалов. При нагревании одного конца полупроводника в нем появляется электрический потенциал: в полупроводнике р-типа на холодном конце возникает отрицательный заряд, а в п-электроде — положительный. Если два этих электрода соединить в форме U-образной конструкции с п-р-переходом в нижней части, то нагревание этого стыка приведет к тому, что на верхнем конце р-электрода будет накапливаться отрицательный заряд, а на верхнем конце п-электрода — положительный.



Термоэлектрическая ячейка. Нагрев проводника вызывает поток электронов к холодному концу п-электрода, а от холодного конца п-электрода — к тепловому участку р-электрода. Наличие электрического тока фиксирует вольтметр. Тепло превращается непосредственно в электричество

В итоге между ними потечет электрический ток, причем этот процесс будет продолжаться до тех пор, пока поддерживается разность температур. (И наоборот, пропускание через термоэлемент электрического тока вызывает поглощение тепла и понижение температуры, поэтому его можно использовать в качестве холодильного устройства.)

Термоэлектрический элемент — очень компактный, не требующий ни дорогостоящего генератора, ни громоздкого парового двигателя — можно легко установить практически в любом месте и использовать в качестве удобного источника энергии. Все, что ему требуется, — это внешний обогреватель, например керосиновая горелка. Как сообщается в печати, такие приборы используются в сельских районах СССР.

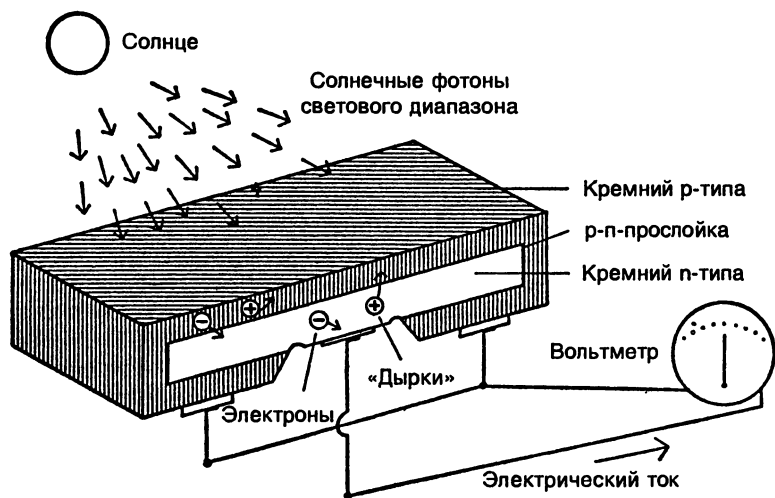
Однако, несмотря на перспективы повышения эффективности использования традиционных видов топлива, а также поиски новых месторождений угля и нефти, эти энергетические ресурсы заведомо ограничены. Наступит день, и не в таком далеком будущем, когда ни уголь, ни нефть не смогут обеспечить потребности человечества в энергии.

А энергии с каждым днем требуется все больше и больше. Что же делать?

Одна из таких возможностей состоит в более широком использовании возобновляемых источников энергии. Древесина, если заниматься методичным выращиванием лесов наподобие традиционных сельскохозяйственных культур, могла бы частично удовлетворить наши энергетические потребности. Необходимо значительно больше использовать энергию воды и ветра, которые до сих пор занимают место подсобных источников энергии. То же можно сказать и о других потенциальных энергетических кладовых: подземных термальных водах, вулканических гейзерах или морских приливах и отливах.

В долговременной перспективе на первом месте стоит использование солнечной энергии. По приблизительным оценкам солнечный свет несет энергии в 50 000 раз больше общего объема энергии, которая искусственно вырабатывается человеком на земле. В этом отношении одним из самых перспективных приборов для преобразования солнечной энергии в электрическую является солнечная батарея, которая изготавливается из полупроводников.

Такие батареи, впервые разработанные в лаборатории Белла в 1954 году, представляют собой плоские сэндвичи из полупроводников р- и n-типа. Падающий на пластину свет выбивает из нее электроны. Как и в обычной батарее, в таком преобразователе имеется замкнутая электрическая цепь. Выбитые электроны движутся к положительному электроду, а дырки — к отрицательному, в результате чего возникает постоянный ток. Один квадрат-



Элемент солнечной батареи. Солнечный свет, падающий на тонкую кремниевую подложку, выбивает из нее электроны, образуя электронно-дырочные пары. Р-п-прослойка выполняет функцию барьера, или электрического поля, отделяющего «дырки» от электронов. В результате на границах этого барьера возникает разность потенциалов и по замкнутой цепи течет электрический ток

ный метр такой батареи может дать напряжение до 0,5 вольта и мощность порядка 9 ватт. Это не много, но главное преимущество солнечной батареи состоит в том, что ее достаточно просто подставить под солнечные лучи.

Впервые солнечные батареи, снабжавшие энергией сигнальный радиопередатчик, были установлены на американском спутнике «Vanguard-1» в марте 1958 года.

На один гектар среднеосвещенной земной поверхности падает световой поток мощностью около 25 миллионов киловатт часов в год. И если солнечные батареи (вместе с электронакопителями) разместить в достаточном количестве в таких пустынных районах, как Сахара, то вырабатываемой ими электроэнергии хватит для удовлетворения нужд всех жителей нашей планеты неограниченно долгое время — столь долгое, сколько человечество будет существовать, если только оно не уничтожит себя.

Однако вряд ли следует рассчитывать на широкомасштабное использование солнечной энергии в ближайшем будущем. К счастью, мы располагаем другим неисчерпаемым источником энергии на земле, который сможем использовать в течение столетий после того, как кончатся запасы угля, нефти и газа. Речь идет об атомной энергии.

Ядерную энергию обычно называют *атомной энергией*, хотя, по сути, это неправильно. Строго говоря, атомная энергия — это энергия, которая выделяется при химических реакциях, например в результате сгорания угля или нефти, поскольку в этих процессах задействованы атомы в целом. Энергия, которая связана с процессами внутри ядра, имеет совсем иную природу и на несколько порядков превосходит обычную химическую энергию.

Как только Чедвик в 1932 году сообщил об открытии нейтрона, физики сразу поняли, какой волшебный ключ они получили в свои руки. Лишенный электрического заряда, нейтрон мог легко проникать внутрь заряженного атомного ядра. И физики тут же принялись обстреливать различные ядра нейтронами, чтобы понять, какие это может вызывать ядерные реакции. В числе самых настоящих в этой области был итальянец Э. Ферми, который за несколько месяцев сумел получить радиоактивные изотопы 37 различных элементов.

Ферми с сотрудниками установил, что лучшие результаты удалось получить, когда нейтроны сначала пропускались через слой воды или парафина. Проходя через эти среды, нейтроны, как бильярдные шары, сталкивались с ядерными протонами и замедляли свое движение до «тепловых» скоростей (соответствующих усредненной скорости движения атомов). В результате возрастала вероятность поглощения нейтронов атомными ядрами. Можно взглянуть на этот эффект и с другой стороны. Нейтрону, как частице, соответствует определенная длина волны, обратно пропорциональная моменту частицы. По мере замедления нейтрона его длина волны возрастает. Пользуясь сравнениями, можно сказать, что нейтрон становится более объемным и «ворсистым». В результате им легче попасть в ядро, точно так же как шаром для боулинга легче сбивать кегли, чем мячом для гольфа.

Вероятность захвата ядром нейтрона называется *сечение захвата*. За этим термином скрывается образное сравнение ядра с мишенью определенного размера. Ясно, что с одного и того же расстояния мячом легче попасть в стенку сарая, чем в узкую доску. Поперечное сечение ядер при нейтронной бомбардировке измеряется ничтожной величиной порядка 10^{-24} см². В 1942 году эту единицу, по предложению американских физиков Холлоуэя и Бейкера, назвали *барн*. Это название было придумано, чтобы скрыть истинный предмет строго засекреченных исследований¹.

Когда ядро поглощает нейтрон, его атомный номер остается без изменения (поскольку заряд ядра остается тем же самым), но зато его массовое число возрастает на единицу. Так, водород-1 превращается в водород-2, кислород-17 становится кислородом-18 и т. д. В результате сопровождающего этот процесс выделения

¹ Barn — сарай (англ.). (Примеч. пер.)

энергии ядро «возбуждается», то есть его энергия возрастает, и этот избыток выделяется в форме гамма-кванта. Вновь образованное ядро часто неустойчиво. Например, когда алюминий-27 поглощает нейтрон, он превращается в алюминий-28, а дополнительный нейтрон в новом изотопе мгновенно превращается в протон (с одновременным испусканием электрона). В итоге возрастает положительный заряд ядра, и алюминий (номер 13) переходит в кремний (номер 14).

Так как с помощью нейтронной бомбардировки можно превратить легкий элемент в более тяжелый, Ферми решил обстрелять атом урана и посмотреть, не удастся ли получить следующий за ним элемент (номер 93). В продуктах бомбардировки урана был обнаружен новый радиоактивный изотоп, который приняли за новый элемент номер 93 и назвали его уран-Х. Но как можно идентифицировать новый элемент, если его свойства никому не известны?

Элемент номер 93 (как вначале думали) должен располагаться в периодической таблице сразу под рением и соответственно должен иметь с ним химическое сходство. (На самом деле, хотя в тот момент этого еще не понимали, этот элемент принадлежал к семейству редкоземельных, поэтому должен иметь сходство с ураном.) Если бы он действительно имел сходство с рением, то можно было бы получить микроколичество элемента 93 путем смешивания продуктов нейтронной бомбардировки с рением и последующим выделением из рения химическими методами. При этом сам рений выступал бы в роли «носителя», тащившего за собой «родственника». Если бы в выделенном таким путем рении присутствовали радиоактивные примеси, это означало бы присутствие элемента 93.

Немецкий физик О. Ган вместе с австрийской коллегой Л. Мейтнер во время работы в берлинской лаборатории провели описанный выше эксперимент, но элемента 93 в рении им обнаружить не удалось. После этого Ган и Мейтнер решили проверить, действительно ли в результате нейтронной бомбардировки уран превращается в следующий за ним по таблице элемент. В этот момент (1938 г.) Германия оккупировала Австрию, и гражданка Австрии Лиза Мейтнер, будучи еврейкой по национальности, была вынуждена бежать от нацистов в Стокгольм (Швеция). А Ган продолжил свою работу с немецким физиком Ф. Штрассманом.

Несколько месяцев спустя Ган и Штрассман обнаружили, что при добавлении перед обработкой нейтронами в урановую мишень бария приводит к появлению радиоактивности. Ученые решили, что эта радиоактивность вызвана наличием радия — элемента, расположенного в периодической таблице под барием. Был сделан вывод, что в результате нейтронной бомбардировки часть урана превратилась в радий.

Но этот «радий» вел себя очень странно. Как ни пытались, Ган и Штрассман так и не смогли отделить его от бария. И. Жолио-Кюри вместе с П. Савичем во Франции пытались повторить опыты, но им также не удалось выделить неизвестное вещество.

Мейтнер, также ломавшая голову над этой загадкой в Стокгольме, сделала достоянием научной общественности смелую идею Гана, которую тот когда-то высказал ей в частной беседе. В своем письме в редакцию британского журнала «Nature» в январе 1939 года она предположила, что «радий» не удастся отделить от бария, поскольку «радия» нет. А то, что считают радием, на самом деле радиоактивный барий, который образовался в результате нейтронной бомбардировки урана. Радиоактивный барий распадается с излучением бета-частицы, превращаясь в лантан.

Но каким образом из урана мог получиться барий? Ведь барий относится к элементам-средневесам. И не были известны процессы радиоактивного распада, чтобы тяжелый элемент превращался в другой — почти в два раза легче исходного. Мейтнер выдвинула идею, что урановое ядро под действием нейтронов делится на два новых ядра, и предложила назвать такое явление *расщеплением*. Она предположила, что два элемента, на которые распадается урановое ядро, — это барий и элемент номер 43, стоящий в периодической таблице над рением (позднее этот элемент будет назван технеций). Эта смелая гипотеза вызывала сомнения, главным образом по той причине, что используемые для бомбардировки нейтроны имели энергию порядка 6 млн эВ; а предполагалось, что для расщепления требуются сотни миллионов электронвольт.

Племянник Мейтнер, О. Фриш, отправился в Данию, чтобы перед публикацией обсудить эту идею с Н. Бором. Бор был удивлен неожиданной легкостью, с которой происходит деление ядра. Но, к счастью, именно в это время он работал над капельной моделью структуры ядра и тут же дал логичное объяснение этого эффекта на основе своей теории. (В последующие годы капельная теория строения ядра, с учетом представлений об электронных оболочках, смогла объяснить некоторые тонкости процесса ядерного деления и почему ядро урана делится на неравные части.)

В любом случае, из теоретических или других соображений, Бор сразу принял новую идею. Он как раз отправлялся на конференцию по теоретической физике в Вашингтон, где поделился с коллегами информацией о расщеплении атомного ядра. Все участники конференции, крайне взволнованные услышанным, поспешили в свои лаборатории, чтобы проверить новую гипотезу. Через месяц появились сообщения, утвердившие справедливость предположений Гана и Мейтнер. В результате Ган был удостоен Нобелевской премии по физике за 1944 год.

С этого момента начались интенсивные работы по созданию нового оружия страшной разрушительной силы — оружия массового поражения.

Ядерная бомба

В процессе расщепления выделяется невероятное количество энергии, значительно больше, чем в ходе обычного радиоактивного распада. Но это явление удивительно не только огромным выбросом энергии. Более важным представляется тот факт, что в результате деления ядра выделяется два-три нейтрона. Через два месяца после письма Мейтнер сразу несколько физиков поняли, что стоят на пороге «цепной ядерной реакции».

Хотя выражение «цепная реакция» звучит несколько экзотически, но фактически это довольно распространенное явление. Даже горение обычного куска бумаги представляет собой химическую цепную реакцию. Этот процесс инициируется с помощью горящей спички, но как только бумага разгорелась, процесс продолжается самопроизвольно, за счет выделяющегося тепла, в результате чего пламя не просто поддерживается на одном уровне, но разгорается все сильнее. То есть горение «самоусиливается».

Точно такая же картина наблюдается и в ходе ядерной цепной реакции. Вначале единичный нейтрон расщепляет ядро урана, в результате чего образуются два новых нейтрона, которые вызывают расщепление еще двух ядер; вылетающие при этом четыре новых нейтрона способствуют расщеплению уже четырех ядер и т. д. При расщеплении первого атома урана выделяется 200 МэВ, на втором этапе — 400 МэВ, далее — 800 МэВ, потом 1600 МэВ и т. д. Поскольку каждый последующий акт расщепления происходит всего через 50×10^{-12} секунд после предыдущего, понятно, что за ничтожную долю секунды выделится умопомрачительное количество энергии. (В действительности средний выход нейтронов в результате единичного расщепления составляет 2,47, поэтому цепная реакция протекает еще быстрее, чем показывают приведенные выше расчеты.) В результате расщепления всего одного грамма урана выделяется столько же энергии, как при сгорании 3 тонн угля или 300 литров высококачественной нефти. Использование ядерной энергии позволило бы преодолеть тревогу по поводу тающих запасов ископаемого топлива и все возрастающего потребления энергии.

Однако открытие процесса самопроизвольного ядерного деления одновременно поставило человечество перед опасностью всемирной ядерной катастрофы. Согласно проведенным расчетам, расщепление одного грамма урана эквивалентно взрыву 20 тонн тротила (тринитротолуола). Даже сама мысль о возможных последствиях ядерной войны вызывает ужас, но еще ужаснее, если

бы такое оружие в конце Второй мировой войны оказалось не в руках союзников, а в арсенале нацистской Германии.

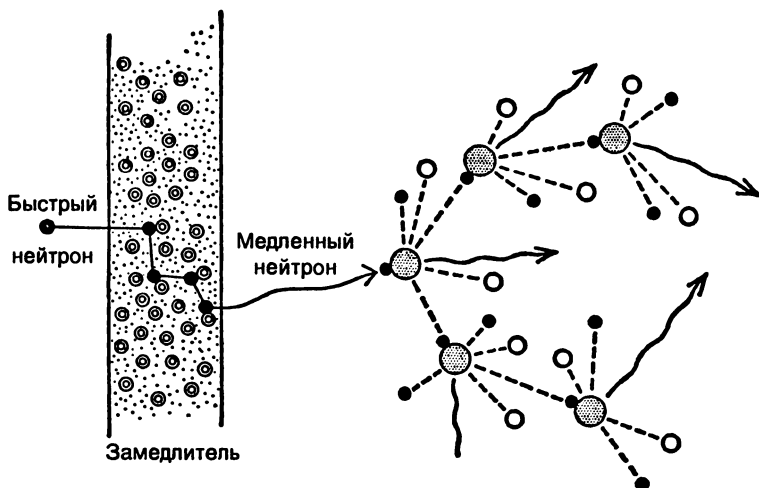
Американский физик Л. Сциллард, долгие годы размышлявший над проведением цепной ядерной реакции, со всей ясностью предвидел возможные последствия ее применения. Он и двое его коллег, Е. Вигнер и Э. Теллер, летом 1939 года уговорили миролюбивого Эйнштейна обратиться к президенту США Ф.Д. Рузвельту с письмом, в котором указывались огромные возможности, связанные с использованием процесса деления урана, и предложили начать разработку такого оружия, чтобы опередить нацистов, работавших над его созданием.

Это письмо, написанное 2 августа 1939 года, попало на стол Рузвельта 11 октября того же года. В промежутке между этими двумя датами началась Вторая мировая война в Европе. Разработкой управляемого процесса деления больших количеств урана к тому времени занималась большая группа физиков Колумбийского университета во главе с Э. Ферми, который за год до этого перебрался в США из Италии.

В ответ на письмо Эйнштейна правительство США предприняло активные действия. Уже 6 декабря 1941 года президент Рузвельт (взявший на себя огромную политическую ответственность в случае неудачи) санкционировал реализацию огромного проекта под намеренно отвлеченным названием «Манхэттенский инженерный проект», целью которого было создание атомной бомбы. На следующий день японцы атаковали Пёрл-Харбор, и США вступили в войну.

Как и следовало ожидать, практика не пошла послушно за теорией. Пришлось очень много сделать, прежде чем удалось реально осуществить цепную ядерную реакцию. Во-первых, предстояло выделить очень большое количество урана и тщательно очистить его от примесей, которые могут поглощать нейтроны. Уран довольно распространенный в природе элемент, его среднее содержание в земной коре составляет примерно 2 грамма на тонну, что в 400 раз больше золота. Но вместе с тем он очень сильно распылен; в мире имеется несколько урановых месторождений, где он встречается в достаточных для добычи концентрациях. Кроме того, до 1939 года уран практически нигде не применялся, поэтому отсутствовали надежные методы его очистки, которые предстояло быстро разработать. Например, в США за все время до начала войны было произведено не более 30 граммов металлического урана.

Под руководством профессора Спеддинга начались интенсивные работы по очистке урана с помощью ионообменных смол (см. главу 5). И уже в 1942 году там стали получать в достаточных количествах высокочистый металлический уран.



Цепная реакция деления урана. Большие серые кружки — атомы урана, черные — нейтроны; волнистые стрелки — гамма-лучи, мелкие кружки — продукты деления

Но это был только первый шаг к цели. Теперь уран предстояло разделить по изотопному принципу с тем, чтобы выделить фракции, легче поддающиеся делению. В изотопе урана-238 (U-238) четное число протонов (92) и нейтронов (146). А ядра с четным числом нуклонов, как мы уже упоминали в 6-й главе, существенно более устойчивы по сравнению с нечетным количеством нуклонов. Другим изотопом природного урана является уран-235, у которого нечетное количество нейтронов в ядре (143). Бор предсказал, что он должен делиться легче, чем уран-238. А в 1940 году исследовательская группа, возглавляемая американским физиком Д. Даннингом, сумела выделить небольшие количества урана-235 (U-235) и экспериментально подтвердить расчеты Бора. U-238 начинает делиться при бомбардировке быстрыми нейтронами с энергией больше определенного уровня, а U-235 подвергается расщеплению при поглощении нейтрона с любой энергией, вплоть до тепловых нейтронов.

Одна из основных проблем заключалась в том, что в чистом природном уране на 140 атомов U-238 приходится лишь один атом U-235. А это значит, что подавляющая часть нейтронов, испускаемых при делении U-235, будет поглощена атомами U-238 без расщепления ядра. Даже если бомбардировать уран достаточно быстрыми нейтронами (способными вызвать деление тяжелого изотопа), то и в этом случае нейтроны, получающиеся при делении U-238, не способны поддержать цепную реакцию, обрекая ее на затухание. Это все равно что пытаться развести костер из сырых дров.

Поэтому ничего другого не оставалось, как разработать способ промышленного разделения изотопов урана или, по крайней мере, «обогащения» исходного урана легким изотопом U-235. Физики предприняли атаку на эту проблему сразу с нескольких направлений, но почти каждый из предложенных методов обеспечивал лишь частичный успех, за исключением *газодиффузионного* способа. Именно этот метод, несмотря на его дороговизну, использовался в атомной промышленности вплоть до 1960 года, когда была разработана намного более дешевая технология выделения U-235 методом центрифугирования, при котором тяжелые молекулы отбрасываются во внешнюю зону центробежного аппарата, а в центральной части скапливаются легкие фракции, содержащие U-235.

Уран-235 легче урана-238 на 1,3 процента. Поэтому, когда они находятся в газообразной форме, атомы U-235 будут двигаться быстрее атомов U-238. Из этого следует, что их можно разделить с помощью серии диффузионных фильтров. Но вначале металлический уран надо перевести в газообразную форму. Практически единственным возможным вариантом является получение гексафторида урана (UF_6). В этой форме молекула, содержащая U-235, всего на 1 процент легче такой же молекулы с U-238; но даже столь малой разницы достаточно, чтобы разделить их газодиффузионным методом.

Газообразный гексафторид урана продавливают через пористые фильтры под давлением. Через каждый из таких фильтров-барьеров молекула с U-235 просачивается быстрее молекулы с тяжелым изотопом, и с каждым фильтром соотношение увеличивается в пользу легкой фракции. Чтобы получить ощутимые количества почти чистого U-235, необходимо несколько тысяч фильтров, но для приемлемого уровня обогащения достаточно и более коротких каскадов.

К 1942 году стало ясно, что с помощью газодиффузионного метода можно получать «обогащенный уран» в достаточных количествах, поэтому было принято решение построить несколько разделительных установок в закрытом городке Оук-Ридж (штат Теннесси, США). Стоимость одного такого завода составляла миллиард долларов, а электроэнергии он потреблял столько же, сколько Нью-Йорк.

Тем временем для физиков настала пора рассчитать *критическую массу*, которая необходима для поддержания цепной реакции в толще обогащенного урана. Если взять малое количество урана, то слишком большая доля нейтронов будет вылетать наружу, не успев поглотиться атомами U-235. Чтобы минимизировать утечку нейтронов, объем куска металлического урана должен быть максимален по отношению к его наружной поверхности. В этом случае нейтронов будет достаточно для поддержания необходимого цепного процесса.

Кроме того, физики разработали способ увеличения эффективного использования всех нейтронов. Тепловые (то есть медленные) нейтроны, как уже отмечалось выше, легче поглощаются легким изотопом U-235, чем их более быстрые собратья. Поэтому стали использовать специальный «замедлитель» нейтронов, при прохождении через слой которого скорость вылетающих при расщеплении нейтронов падала до «теплого» уровня. Отличным замедлителем нейтронов оказалась обычная вода, но, к сожалению, выяснилось, что водород жадно «заглатывает» нейтроны. На роль замедлителя намного лучше подошла *тяжелая вода*, в которой дейтерий (водород-2) практически «равнодушен» к нейтронам.

До 1943 года тяжелую воду получали преимущественно электролитическим способом. Обычная вода распадается на водород и кислород намного легче, чем ее тяжелый аналог, поэтому основную массу загруженной в электролизер воды разлагали, а остаток, обогащенный тяжелой водой, забирали для использования. Но после 1943 года остановились на дистилляционной технологии. Обычная вода кипит при более низкой температуре, поэтому последние фракции всегда обогащены тяжелой водой.

В 1940-х годах тяжелая вода сыграла очень важную роль. Известна драматическая история о том, как накануне вторжения нацистов во Францию супруги Жолио-Кюри организовали тайный вывоз из страны запасов тяжелой воды. Однако сотни литров этого стратегического продукта, произведенного в Норвегии, попали в руки немецко-фашистских захватчиков. Но британские десантники уничтожили эти хранилища в 1943 году.

У тяжелой воды имеется крупный недостаток: во время цепной реакции она может закипеть, что, в свою очередь, вызывает коррозию урана. Поэтому участники «Манхэттенского проекта» вместо воды стали использовать углерод в форме высокочистого графита.

Еще один вариант замедлителя — бериллий, однако недостатком этого материала является высокая токсичность. Болезнь бериллёз была впервые обнаружена у одного из физиков — разработчика атомной бомбы.

Теперь давайте рассмотрим саму цепную реакцию. Иницирующий процесс поток нейтронов пропускается через замедлитель и попадает в массу обогащенного урана. Часть атомов U-235 подвергается расщеплению, в результате которого выделяются дополнительные нейтроны, вызывающие деление следующей партии атомов U-235 и выделение новых нейтронов. Некоторые из этих нейтронов поглощаются другими изотопами урана, другие теряются, выскакивая наружу. Но если при каждом делении атома урана образуется всего один нейтрон, этого вполне достаточно для самоподдерживающейся цепной реакции. А если такой «фактор размножения» больше единицы, даже на малую долю (скажем, 1,001), то цепная реакция закончится взрывом. Такой вари-

ант нужен для атомной бомбы, но не подходит для экспериментальных исследований. Необходимо устройство для контроля над цепной реакцией. Один из наиболее технологичных способов — подвижные стержни из металлического кадмия, имеющего высокое сечение захвата нейтронов. Однако цепная реакция развивается так быстро, что механическим перемещением стержней ее было бы невозможно регулировать, если бы не тот благоприятный факт, что при делении атомов урана не все нейтроны вылетают одновременно. Примерно один из 150 нейтронов «запаздывает» и вылетает через несколько минут после деления ядра, поскольку выходит не из самого атома урана, а из продуктов его деления, которые меньше по размеру. И когда фактор размножения лишь слегка превышает единицу, этого запаздывания вполне достаточно для надежного управления нейтронным потоком с помощью регулирующих кадмиевых стержней.

В 1941 году была проведена серия опытов с уран-графитовыми смесями, в результате которых физики поняли, что цепную реакцию можно проводить и на небогащенном уране, если только использовать достаточно большую по массе загрузку расщепляющегося материала.

Первый ядерный реактор критического размера на уране был смонтирован в Чикагском университете. К тому времени уже было наработано около 6 тонн чистого урана; уран и графит уложили последовательными слоями — всего 57 слоев, — в которых оставили отверстия для кадмиевых регулировочных стержней. Такая сборка получила название котел, чтобы зашифровать ее истинное назначение. (Во время Первой мировой войны новые средства вооружения на гусеничном ходу называли танки, что по-английски означает «большой бак». Аналогично тому, как быстро прижилось слово «танк» с новым значением, так и *атомный котел* постепенно стал более привычным, чем *ядерный реактор*.)

Чикагский котел, построенный под футбольным стадионом, имел примерно 30 футов в ширину, 32 фута в длину и 21,5 фута в высоту. Он весил 1400 тонн и загружался 52 тоннами урана, как в виде металла, так и окиси. (Как сообщалось, в случае чистого урана-235 критическая масса не превышала 270 граммов.) Второго декабря 1942 года регулировочные кадмиевые стержни стали медленно вытягивать наверх: в 15.45 фактор размножения достиг заветной единицы — и началась самоподдерживающаяся цепная реакция. В эту самую секунду перед человечеством открылась дверь в атомный век.

Руководивший запуском Э. Ферми в качестве награды получил от коллег бутылку кьянти. Присутствовавший при этом событии А. Комптон тут же позвонил Дж. Конанту в Гарвард, объявив о достигнутом успехе: «Итальянский штурман снова открыл Новый Свет». А на вопрос «Как там аборигены?» физик радостно ответил: «Весьма дружелюбны!»

Любопытно отметить, что первый итальянский навигатор открыл Новый Свет в 1492 году, а второй совершил свое открытие в 1942 году; все, кто верит в магические свойства чисел, могут оценить такое редкое совпадение.

Незадолго до этого события появился еще один делящийся материал. В результате поглощения нейтрона изотопом U-238 образуется U-239, который тут же распадается на нептуний-239, а тот, в свою очередь, мгновенно превращается в плутоний-239.

В ядре нептуния-239 нечетное количество нейтронов (145), кроме того, он тяжелее урана-235 и поэтому менее устойчив. Можно было предположить, что плутоний, как и уран-235, расщепляется при поглощении теплового нейтрона. В 1941 году это предположение получило экспериментальное подтверждение. Еще не будучи уверенными, что выделение изотопа U-235 будет технологически приемлемым вариантом, физики решили сделать ставку и на плутоний.

В 1943 году были построены специальные реакторы в Оук-Ридже и Хенфорде (штат Вашингтон), предназначенные для наработки плутония. Эти реакторы имели важные преимущества по сравнению с первым ядерным котлом в Чикаго. Получавшийся плутоний отделяли от урана химическими методами, а продукты деления, некоторые из которых были мощными нейтронными поглотителями, удалялись. Новый тип реакторов был снабжен системой водяного охлаждения, чтобы избежать нежелательного перегрева. (Ядерный реактор в Чикаго мог работать лишь кратковременно, поскольку охлаждался обычным воздухом.)

К началу 1945 года было получено достаточно урана-235 и плутония-239 для изготовления атомных бомб. Этот третий проект осуществлялся еще в одном закрытом городке, Лос-Аламос (штат Нью-Мексико) под руководством Р. Оппенгеймера.

При изготовлении атомной бомбы ставилась задача добиться максимально быстрой цепной реакции. Нужно было использовать быстрые нейтроны с тем, чтобы максимально сократить интервалы между актами деления, поэтому замедлитель был удален из системы. Сам уран помещался в массивный и прочный кожух, чтобы удерживать делящийся материал как можно дольше в компактном состоянии и дать цепной реакции как следует разрастись.

Поскольку критическая масса делящегося материала может взорваться самопроизвольно (от случайного нейтрона из атмосферы), урановый заряд делился на две или большее количество частей. В качестве спускового механизма использовался обычный тротил, при взрыве которого разрозненные части заряда спрессовывались в общую массу. Одна из бомб, названная Худышка, представляла собой трубу с двумя порциями урана-235, размещен-

ными в разных концах. Другая, по имени Толстяк, имела форму шара, оболочка которого состояла из порций делящегося материала, который в результате взрыва тротилового «капсюля» специальной «трамбовкой» выталкивался к центру, мгновенно образуя плотную критическую массу. Это «трамбовочное» устройство также служило препятствием для вылета нейтронов наружу из зоны деления, что позволило добиться снижения критического размера суммарного заряда.

Испытать такое устройство в малом, лабораторном масштабе было невозможно. Бомба могла сработать лишь при наличии критической массы, в противном случае это была бы простая болванка. Поэтому первое испытание неизбежно должно было пройти в полном масштабе. Первая атомная бомба, или сокращенно А-бомба, была взорвана на полигоне вблизи города Аламогордо (штат Нью-Мексико) в 5.30 16 июля 1945 года. Это был взрыв чудовишной разрушительной силы, сопровождавшийся фантастическими эффектами, его суммарный тротильный эквивалент составил 20 килотонн. Когда одного из физиков, свидетеля того испытания, позднее спросили, что он может рассказать об этом событии, тот скорбно произнес: «Ничего не могу сказать вам; но не думаю, что вы умрете естественной смертью». (Надо пояснить: журналист, к которому он обращался, через несколько лет умер естественной смертью.)

Были приготовлены еще две бомбы. Урановую бомбу Малыш (3 метра в длину, 60 сантиметров в ширину и весом 4,5 тонны) американцы сбросили на японский город Хиросиму 6 августа 1945 года; ее взрыв был зафиксирован самыми удаленными радарными. Несколько дней спустя плутониевая бомба Толстяк ($3,5 \times 1,5$ метра, весом 5 тонн) была сброшена на Нагасаки. Общая мощность обоих взрывов составила 35 килотонн. После бомбардировки Хиросимы, спустя три года после начала атомной эры, человечество осознало, какое страшное оружие попало в его руки.

В течение 4 лет после этих взрывов американцы жили в уверенности, что секрет атомной бомбы можно утаить от других народов. Но экспериментальные и теоретические сведения в области расщепления атома публиковались начиная с 1939 года, а Советский Союз начал работы в этом направлении в 1940 году. И если бы Вторая мировая война не так сильно истощила его ресурсы, то СССР вполне мог разработать атомную бомбу к 1945 году, в одно время с США. Но Советский Союз смог испытать свою первую ядерную бомбу лишь 22 сентября 1949 года; однако это событие взволновало и потрясло американцев. Тем более, что взорванная бомба имела мощность 210 килотонн, что в 6 раз мощнее зарядов, сброшенных на Хиросиму и Нагасаки.

А уже 3 октября 1952 года третьим членом ядерного клуба стала Великобритания; 13 февраля 1960 года к нему присоединилась Франция, взорвавшая свою бомбу в пустыне Сахара. Нако-

нец, 16 октября 1964 года Китайская Народная Республика объявила об успешном проведении ядерного взрыва, став пятым обладателем ядерного оружия.

Ядерное оружие становилось все опаснее. В 1953 году США впервые произвели артиллерийский выстрел снарядом с ядерной боеголовкой. Такая атомная артиллерия, или *тактическое ядерное оружие*, открыла новую (к сожалению, не последнюю) страницу в гонке ядерных вооружений.

Тем временем атомная бомба превратилась в тривиальность. Человек обнаружил другие, более мощные ядерные реакции, которые привели к созданию супербомбы.

При расщеплении урана в энергию переходит лишь 0,1 процента его массы. Зато, как установил еще в 1915 году американский химик В. Харкинс, при синтезе атома гелия из двух атомов водорода происходит выделение энергии эквивалентной 0,5 процента массы водорода. Но этот синтез возможен лишь при температуре несколько миллионов градусов. В этих условиях два протона объединяются в одно ядро, испуская позитрон и нейтрино и превращаясь в дейтрон. Ядро дейтерия может присоединить еще один протон с образованием тритона, ядра трития, который, в свою очередь, — путем присоединения очередного протона — превращается в гелий-4. Другой вариант — это реакция дейтрона с тритоном и получение в результате того же гелия-4.

Поскольку подобные процессы могут происходить лишь при чрезвычайно высоких температурах, их называют «термоядерными реакциями». В 1938 году немецкий физик, эмигрировавший в США, Г. Бете высказал предположение, что высокоэнергетические процессы на Солнце связаны именно с реакциями термоядерного синтеза, тем самым попытавшись ответить на вопрос Гельмгольца, который тот высказал за 100 лет до открытия ядерных реакций.

Благодаря цепной реакции деления урана появилась возможность достичь таких температур и на Земле. В этом случае расщепление ядра играет роль спички для «поджигания» термоядерного синтеза. Однако специалисты сомневались в возможности осуществления такого процесса в форме взрыва. Дело в том, что водородное топливо — в виде смеси дейтерия и трития — предварительно необходимо сжать в очень плотную массу, чтобы перевести в жидкое состояние, и затем хранить при температуре всего на несколько градусов выше абсолютного нуля. Другими словами, бомба должна представлять собой большой холодильник. Но если водородную бомбу все-таки удастся изготовить, то для чего она нужна? Ядерная бомба может разрушать города; водородная бомба может уничтожать целые народы.

Но, несмотря на не слишком ясные перспективы, Соединенные Штаты и Советский Союз вплотную занялись этой проблемой. В рамках американской Комиссии по атомной энергии вскоре было получено тритиевое топливо, и на его основе создано 65-тонное устройство, объединившее в себе ядерное деление и термоядерный синтез. Первого ноября 1952 года на коралловом атолле в Тихом океане был произведен первый термоядерный взрыв водородной (или H-бомбы). Его результаты превзошли самые смелые расчеты — тротиловый эквивалент составил 10 миллионов тонн (10 мегатонн), что в 500 раз мощнее бомбы, сброшенной на Хиросиму. Целый коралловый остров «как королева языком слизнула»!

Русские отстали ненамного; уже 12 августа 1953 года они произвели успешное испытание термоядерной бомбы, которая была настолько легче американской, что ее сбросили с самолета. В США такую компактную бомбу изготовили лишь год спустя. Таким образом, если у американцев на создание термоядерного оружия ушло 7,5 года, то Советский Союз справился с этой задачей всего за одну пятилетку.

Таким образом, удалось решить задачу осуществления термоядерной реакции в сравнительно небольших масштабах и уместить всю систему в небольшой по размерам бомбе. Ключом к техническому решению этой проблемы стал литий. Когда изотоп лития-6 поглощает нейтрон, он делится на ядра гелия и трития с одновременным выделением 4,8 МэВ энергии. Теперь предположим, в качестве топлива используется соединение лития с водородом (в форме тяжелого изотопа дейтерия), которое является твердым веществом, поэтому охлаждения в данном случае не нужно. В результате инициирующей цепной реакции появятся нейтроны, которые вызовут расщепление лития по указанной схеме. Тепло, выделяющееся при ядерном взрыве, запустит механизм термоядерного синтеза с участием дейтерия, присутствующего в литиевом топливе, и трития, который образуется при распаде лития. Другими словами, по ходу расщепления лития протекает целая серия термических реакций: расщепление лития, ядерное соединение дейтерия с дейтерием и, наконец, слияние ядер дейтерия и трития.

Кроме выброса фантастического количества энергии, эти реакции дают огромное число нейтронов, поэтому ученые задумались: почему бы не задействовать их в цепной реакции деления урана? Ведь обычный уран-238 расщепляется при обстреле быстрыми нейтронами (хотя не так легко, как уран-235). Положим, вы изготовили бомбу с сердечником, начиненным U-235 (запал), который окружен зарядом дейтрида лития, а вокруг всей этой конструкции уложен слой U-238, также являющегося ядерным зарядом. Это будет очень мощная бомба. Слой из U-238 можно сделать сколь угодно тонким, поскольку в данном случае ни о

каком критическом размере речь не идет и цепная реакция идет самопроизвольно. Такая схема получила название U-бомба.

Такая бомба действительно была изготовлена и испытана на атолле Бикини (в районе Маршалловых островов) 1 марта 1954 года, и этот взрыв — мощностью 15 мегатонн — потряс буквально весь мир. Драматические последствия вызвал дождь из радиоактивных осколков, под который случайно попали 23 японских рыбака, занимавшиеся рыболовным промыслом на судне «Удачливый Дракон». В результате рыбаки подверглись радиоактивному облучению, один из них умер; здоровье остальных жителей Земли тоже не улучшилось.

С 1954 года ядерное и термоядерное оружие вошло в арсеналы США, Советского Союза и Великобритании. В 1967 году к ним присоединился и Китай, сумевший создать термоядерную бомбу всего за 3 года. Советский Союз уже провел испытания бомб мощностью от 50 до 100 мегатонн, а США, если понадобится, вполне способны изготовить еще более мощные бомбы.

Есть еще один интересный вариант: водородная бомба, взрыв которой сопровождается не столько выделением тепла, сколько мощными нейтронными потоками. Такое оружие поразило бы людей и все живые организмы без вреда для строений и машин. Такая нейтронная, или N-бомба может прийтись по душе тем, кто беспокоится о собственности и не ценит человеческую жизнь.

Ядерная энергия

Ужасные последствия применения ядерного оружия заставляют людей думать об ученых как о бездушных существах, это мнение подтверждается многими примерами с самого зарождения науки.

Нельзя отрицать тот факт, что, начиная создавать атомную бомбу, ученые заранее знали о гигантской разрушительной силе этого оружия и о том, что оно может быть реально использовано.

В их оправдание можно сказать, что действовали они под давлением обстоятельств — во время самой страшной войны против безжалостных врагов — и опасались, что маньяк по имени Адольф Гитлер первым получит в распоряжение такую бомбу. Ученых, работавших над созданием бомбы, глубоко волновала судьба их детища, и многие выступали и выступают против его применения. А некоторые даже ушли из ядерной физики, что можно расценивать как раскаяние. Но не испытывают угрызений совести политические и военные лидеры, которые принимают решения по применению ядерного оружия.

Более того, мы не можем и не должны пренебрегать тем фактом, что, найдя способ высвобождения энергии атомного ядра,

ученые дали человечеству силу, которую можно направить как на созидание, так и на разрушение. Важно подчеркнуть, что в современном мире возникла ситуация, сопряженная с угрозой ядерного уничтожения; она поставила науку и ученых в положение стыдливого оправдания. В США имеются традиции в духе Руссо, и поэтому крепнет отношение к науке и книжным знаниям как к злу, которое нарушает естественную гармонию человека и природы.

Даже взрыв атомной бомбы нельзя рассматривать как исключительно акт разрушения. Точно так же, как более слабые химические взрывы давно используются при рытье шахт, прокладывании туннелей и строительстве плотин, ядерные взрывы могут оказать огромную помощь в строительных проектах. Перспективы неограниченны: углубление гаваней, рытье каналов, удаление скального грунта, устройство подземных резервуаров для жидкого топлива и газа, полеты космических кораблей. Но в 1960-х годах надежды на мирное развитие ядерных сил не оправдались. Основным сдерживающим фактором оставались опасность радиоактивного загрязнения и дороговизна источника ядерной энергии.

Принципиальная возможность использования ядерной энергии была заложена уже в конструкции первого цепного реактора, установленного под университетским стадионом в Чикаго. Контролируемая ядерная реакция могла давать огромные количества тепла при наличии «охладителя»: воды или расплавленного металла, через который это тепло будет передаваться для обогрева зданий или для выработки электроэнергии.

Первые экспериментальные ядерные реакторы для получения электроэнергии появились в Великобритании и США через несколько лет после войны. Сейчас у Соединенных Штатов (речь идет о 1970 годе) имеется большой флот атомных подводных лодок, первая из которых, «Наутилус» (стоимостью 50 миллионов долларов), спущена на воду в 1954 году. Эта подлодка имеет в XX веке такое же значение, как в свое время знаменитый пароход «Клермон» конструкции Фултона. Такие подлодки снабжены ядерными силовыми установками практически с неограниченными ресурсами, что дает им возможность оставаться под водой очень долгое время, в то время как обычные субмарины вынуждены подниматься на поверхность для подзарядки батарей от дизельных генераторов, для работы которых нужен воздух. Более того, если обычная подлодка движется со скоростью около 8 узлов, то ядерная субмарина разгоняется до 20 узлов.

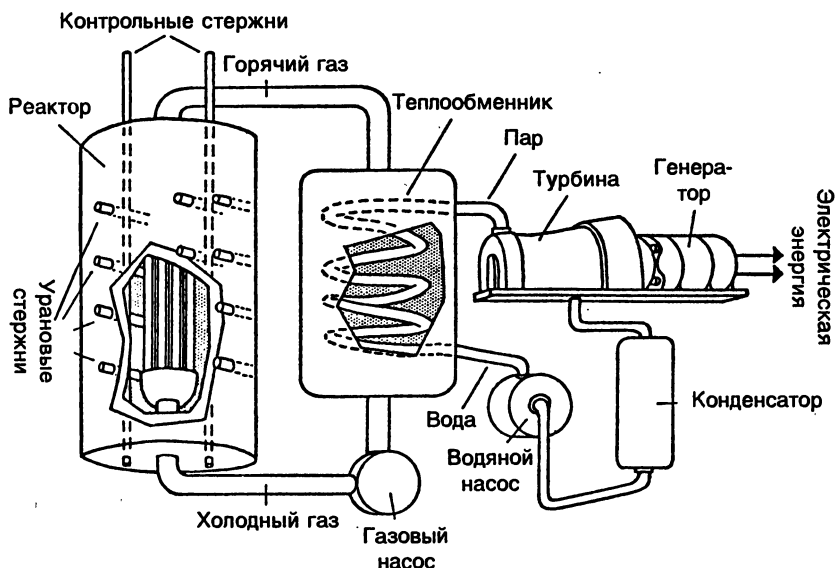
Первой загрузки ядерного реактора, установленного на «Наутилусе», хватило более чем на 62 500 миль. За это время лодка (в 1958 г.) совершила беспрецедентный переход по Северному Ледовитому океану, в ходе которого было установлено, что глубина океана в районе Северного полюса составляет 2,5 мили, намного больше, чем считали раньше. Атомная субмарина «Тритон» обо-

гнула земной шар под водой за 84 дня, с февраля по май 1960 года по маршруту Магеллана.

Советский Союз также располагает атомным подводным флотом, а в декабре 1957 года спустил на воду первый атомный ледокол «Ленин». Немного спустя (в 1959 г.) США построили два корабля надводного плавания с ядерными силовыми установками, «Лонг-Бич» (крейсер) и «Саванна» (транспортное судно). На «Лонг-Бич» было установлено два ядерных реактора.

Менее чем через 10 лет после спуска на воду первых атомных кораблей Соединенные Штаты уже располагали атомным флотом, включая 61 подводную лодку и 4 надводных судна. Однако немного спустя энтузиазм по поводу надводных атомных эсминцев (в отличие от субмарин) заметно уменьшился. В 1967 году «Саванна» была снята с эксплуатации, поскольку ее содержание обходилось в 3 миллиона долларов ежегодно, что представлялось слишком расточительным.

Но ядерные реакторы нашли применение не только в сфере вооружений. Первый крупномасштабный ядерный реактор, снабжавший электроэнергией городских жителей, был построен в Советском Союзе в 1954 году. Он был относительно невелик, мощностью всего 5000 киловатт. В октябре 1956 года Великобритания пустила в действие атомную электростанцию «Калдер-



Схематичное изображение силового ядерного реактора с газовым охлаждением. Тепло, вырабатываемое реактором, через газ-оохладитель (который может содержать пары металла) направляется на получение водяного пара, вращающего турбину электрогенератора

Холл» мощностью 50 000 киловатт. США были третьими: 26 мая 1958 года фирма «Вестингауз» закончила строительство ядерного реактора для снабжения электричеством жителей Шиппинг-порта (штат Пенсильвания) мощностью 60 000 киловатт.

Вскоре атомные электростанции появились и в других странах, а в США к 1970 году атомные реакторы уже вырабатывали около половины всей потребляемой электроэнергии. Компактная ядерная силовая установка была даже смонтирована на искусственном спутнике, который запущен в космос 3 апреля 1965 года. Но до сих пор проблемой атомных реакторов является опасность радиоактивного загрязнения. Регулярные выступления общественности против развития ядерной энергетики начались с 1970-х годов.

Если на смену традиционным видам топлива — углю и нефти — приходит ядерное топливо, то возникает вопрос: как велики запасы нового топлива и насколько его хватит? Если в качестве делящегося материала исходить лишь из урана-235, то ненадолго. Но, к счастью, имеется возможность искусственного получения других делящихся веществ.

Прежде всего, место урана может занять плутоний. Положим, мы изготовили небольшой реактор, работающий на обогащенном уране, и убрали замедлитель, чтобы вся масса урана-238 в кожухе реактора пронизывалась мощными потоками быстрых нейтронов. В результате произойдет превращение урана-238 в плутоний. Можно организовать процесс так, чтобы все нейтроны, образующиеся при расщеплении U-235 (размещенного в центральной зоне реактора), направлялись на бомбардировку U-238, и в результате единичного расщепления атома U-235 получать более одного атома плутония в кожухе реактора. Иначе говоря, мы будем получать больше ядерного топлива, чем потребляем.

Первый «размножающий реактор» на быстрых нейтронах был создан группой американских исследователей под руководством В. Зинна в 1951 году в городе Арко (штат Айдахо). Его назвали ЭРР-1 (экспериментальный размножающий реактор). Наряду с проведением экспериментов он служил для выработки электроэнергии в течение 13 лет, после чего был остановлен из-за морального износа.

Размножающая технология позволяет многократно умножить запасы ядерного топлива, поскольку сырьем для такого процесса служит широко распространенный в природе U-238.

Обычный торий можно обогатить изотопом тория-232, что дает еще один потенциальный источник ядерного горючего. При поглощении быстрого нейтрона изотоп тория-232 превращается в торий-233, который мгновенно распадается с образованием урана-233. А уран-233 легко расщепляется медленными нейтронами, поддерживая цепную ядерную реакцию. Поэтому торий можно считать перспективным ядерным топливом, тем более что его содержание в земной коре в 5 раз выше, чем у того же урана.

Было подсчитано, что верхний 100-метровый слой земной коры содержит около 12 000 тонн урана и тория на одну квадратную милю. Хотя это не значит, что их добыча очень легка.

По приблизительным оценкам, суммарные запасы урана и тория на Земле в 20 раз превышают имеющиеся резервы ископаемого топлива.

Радиоактивность

Наступление атомной эры сразу поставило человека перед лицом новой опасности. При попытке проникнуть внутрь ядра он столкнулся с ядерной радиацией. Точнее сказать, жизнь на Земле всегда сопровождалась естественным радиоактивным фоном и проникновением космических лучей. Но в результате получения чистых радиоактивных веществ, например радия, который в природе встречается в виде очень слабых следов, радиоактивная опасность резко возросла. Кое-кто из первых исследователей рентгеновских лучей и радия получил смертельные дозы облучения. М. Кюри и ее дочь И. Жолио-Кюри умерли от лейкемии (белокровия), полученной в результате слишком больших доз облучения.

Тот факт, что число заболеваний лейкемией в последние 20 лет удвоилось, может быть частично связан с широким использованием рентгеновского излучения для различных целей. По статистике, у врачей, которые используют рентгеновскую диагностику, эта болезнь встречается вдвое чаще, чем у обычных людей. А у специалистов-рентгенологов, занимающихся наладкой этих приборов, вероятность лейкоз в 10 раз выше. Поэтому ведутся поиски новых методов исследований, например ультразвукового сканирования, призванного заменить рентгеновскую диагностику. Овладение цепной ядерной реакцией вызвало к жизни еще одну серьезную опасность. Независимо от источника, будь это бомба или силовой ядерный реактор, процесс ядерного расщепления может вызвать радиоактивное заражение атмосферы, земли и воды — всего, что мы пьем, едим и вдыхаем. Ядерное деление представляет собой форму загрязнения, которая должна быть под постоянным контролем.

Образующиеся при делении атомов урана или плутония «продукты распада» имеют различную форму. Часть из них относится к изотопам бария или технеция, встречается и целый ряд других радиоактивных изотопов. Всего удалось идентифицировать около 200 радиоактивных продуктов. Они представляют большую проблему для ядерных технологий, поскольку многие из них интенсивно поглощают нейтроны и нарушают ход цепных реакций. По этой причине отработанное топливо периодически извлекается из ядерных реакторов и направляется на очистку.

Все продукты деления в той или иной степени, в зависимости от мощности и природы радиации, представляют опасность для жизни. Например, попавшие внутрь организма альфа-частицы более опасны, чем бета-излучение. Большую роль играет также скорость распада: короткоживущие ядра дают при распаде больше энергии в единицу времени, чем более стабильные изотопы.

О скорости распада того или иного радионуклида имеет смысл говорить, если речь идет о больших количествах этого нуклида. Ведь отдельный радионуклид может распасться через мгновение, или через миллион лет, или через какой-то промежуток времени — невозможно сказать, когда точно это случится, поскольку это событие *вероятностное*. Однако любое радиоактивное вещество имеет характерную для него скорость распада, поэтому в случае большого количества атомов можно с высокой степенью точности рассчитать, какая часть исходного количества распадется через определенный промежуток времени. Положим, мы экспериментально установили, что каждый год распадается один атом X из двух. Таким образом, к концу года из каждой тысячи исходных атомов X останется 500, через 2 года — 250, через 3 — 125 и т. д. Время, за которое исходное количество — в результате распада — уменьшается в 2 раза, называется *периодом полураспада* (этот термин предложил Резерфорд в 1904 году); следовательно, период полураспада атомов X составляет один год. Любой радионуклид имеет свой собственный период полураспада, который в обычных условиях неизменен. (Влияние внешних факторов может сказаться при бомбардировке нуклида частицами или в условиях сверхвысоких температур внутри звезды — другими словами, в экстремальных условиях, когда ядро теряет устойчивость.)

Период полураспада урана-238 составляет 4,5 миллиарда лет. Поэтому неудивительно, что во Вселенной осталось еще достаточно урана, несмотря на ее древний возраст. Простой расчет показывает: чтобы распалось 99 процентов исходного количества радионуклида, необходимо время, в 6 раз превышающее его период полураспада. Например, через 30 миллиардов лет из каждой тонны урана в земной коре останется около одного килограмма этого элемента.

Хотя изотопы одного и того же элемента химически неразличимы, они обладают разными ядерными свойствами. Так, уран-235 распадается в 6 раз быстрее урана-238; его период полураспада «всего» 710 миллионов лет. Нетрудно понять, что миллионы лет назад природный уран был намного богаче изотопом U-235, чем сейчас. Например, 6 миллиардов лет назад уран на 70 процентов состоял из U-235. Не надо думать, что человечество может столкнуться с полным исчезновением U-235. Даже если поиски новых расщепляющихся материалов займут еще миллион

лет, все равно в земле останется 99,9 процента современных запасов этого изотопа.

Легко понять, что нуклиды, период полураспада которых менее 100 миллионов лет, почти исчезли из природы за время существования нашей Вселенной. Поэтому в наши дни можно найти лишь следы плутония. Самый долгоживущий изотоп плутония, Pu-244, имеет период полураспада всего 70 миллионов лет.

Уран, торий и другие долгоживущие элементы рассеяны в скальных и осадочных породах, поэтому удельная радиация природных образцов незначительно превышает обычный атмосферный фон. Человек обладает даже собственной радиоактивностью, поскольку все живые ткани содержат микроколичества неустойчивых изотопов калия (K-40), период полураспада которого 1,3 миллиарда лет. (При распаде калия-40 образуется аргон-40, и этот факт объясняет, почему именно аргон присутствует в земной атмосфере в самом большом количестве среди остальных инертных газов.)

Различные радионуклиды, встречающиеся в природе, создают так называемый «радиационный фон» (куда вносят вклад и космические лучи). Природная радиация, вероятно, является одним из факторов эволюции (за счет вызванных ею мутаций), а возможно, и причиной раковых заболеваний. Но живые организмы благополучно прожили на этом фоне многие миллионы лет. Лишь в наше время радиация стала представлять реальную опасность: начав с опытов с радием, человек научился вызывать ядерное деление и строить ядерные реакторы.

Овладевая атомной энергией, физики начинали понимать, сколь опасной может быть ядерная радиация. Разрабатывались специальные меры защиты. С «горячими» продуктами деления и другими радиоактивными материалами работали в защитных камерах с толстыми свинцовыми стенками, куда были вставлены свинцовые стекла. Работы с радиоактивными веществами велись с помощью механизмов дистанционного управления — манипуляторов. Каждый сотрудник имел при себе датчик с фотопленкой или другой детектор, чтобы контролировать радиационный уровень и дозу облучения. «Максимально допустимые дозы» радиации были определены в результате многочисленных опытов на животных. (Млекопитающие более чувствительны к радиации, чем другие живые организмы, но человек более устойчив к облучению, чем его «братья по классу».)

Несмотря на строгую технику безопасности, время от времени случались инциденты со смертельным исходом, чаще всего от лучевой болезни. Даже при соблюдении всех мер безопасности определенный риск всегда сохраняется, поэтому работникам атомных проектов создавались условия для работы намного лучше, чем работникам других профессий.

Опасной стороной ядерных технологий являются тонны и даже тысячи тонн радиоактивных отходов, которые накапливаются с

каждым годом. Что делать с этими смертельно опасными материалами?

Большую долю в общем объеме отходов составляют недолговечные изотопы, которые становятся практически безвредными уже по прошествии нескольких недель или месяцев. Намного большую опасность представляют нуклиды с периодом полураспада от одного до тридцати лет. Они не слишком долговечны, чтобы вызвать интенсивную радиацию, но процесс деления будет происходить на протяжении жизни многих поколений. Так, содержание радионуклида с периодом полураспада 30 лет снизится до 1 процента лишь по прошествии двух веков.

Продуктам деления можно найти полезное применение. Как источники энергии они могут использоваться в небольших по мощности устройствах или приборах. Испускаемые ими частицы в результате поглощения выделяют тепло. А тепло затем можно преобразовать в электричество с помощью термопары. Такие «атомные батареи», весящие порядка полутора килограммов, генерируют электрический сигнал мощностью 60 ватт и работают в течение целого года. Они были использованы, в частности, на американских спутниках «Транзит-4А» и «Транзит-4В», выведенных на орбиту в 1961 году для работы в качестве навигационных маяков.

Чаше всего в атомных батареях используется стронций-90, о котором вскоре мы поговорим в другой связи. В некоторых приборах применяются изотопы плутония, юрия и некоторых других элементов.

Очень большие перспективы открываются перед радиоизотопами в медицине (например, при лечении рака), в пищевой промышленности (для уничтожения бактерий и консервирования), а также в других областях, включая химическую промышленность. Например, компания «Геркулес Паудер» (США) создала реактор, где радиация используется для производства этиленгликоля (антифриза).

Но, несмотря на различные варианты применения, лишь малая доля радиоактивных отходов, образующихся в ходе работы атомных реакторов, может быть использована подобным образом. Поэтому все АЭС сталкиваются в этом плане с большими трудностями. Самая большая опасность связана с возможностью начала неконтролируемой цепной реакции (или, как это еще называют, *ядерный скачок*), о которой конструкторы не имеют права забывать. Благодаря большому вниманию к этому вопросу крупных аварий до сих пор не случалось, за исключением аварии на реакторе в штате Айдахо (США), когда погибли три человека и произошло радиоактивное заражение территории¹.

¹ Самая крупная авария за всю историю ядерной энергетики произошла 26 апреля 1986 г. в Чернобыле (СССР). (*Примеч. пер.*)

Подсчитано, что один атомный реактор мощностью 200 000 киловатт ежедневно дает около 500 граммов продуктов деления. Что с ними делать? В США и Великобритании радиоактивные отходы помещают в стальные бочки, заливают бетоном и сбрасывают в море. Предлагается хранить отходы в старых соляных шахтах или смешивать их с молотым стеклом, переплавлять и остеклованные материалы захоранивать. Но всегда остается подспудная мысль, что рано или поздно эти захоронения вскроются и произойдет тотальное загрязнение воды и почвы. Еще одна опасность связана с возможной аварией корабля или подлодки с атомным реактором на борту, после которой все радиоактивные отходы попадут в океан. Достаточно вспомнить американскую подлодку «Трешер», утонувшую в Атлантическом океане в апреле 1963 года, хотя все обошлось.

Если работа атомных электростанций находится под постоянным контролем, то намного более сложная ситуация сложилась в области ядерных вооружений, которые расползаются по всему миру.

Атомные бомбы представляют опасность, даже если дело ограничивается их испытанием на специальных полигонах. выпадающие радиоактивные осадки разносятся ветрами по всему миру, и ни одна страна не может взорвать атомную бомбу в атмосфере незаметно для других. В случае ядерной войны продолжительные радиоактивные осадки способны вызвать более тяжелые последствия для всего живого на Земле, чем сам взрыв.

Осадки подразделяются на три вида: местные, тропосферные и стратосферные. Местные осадки выпадают в результате взрывов на земле, когда радиоактивные изотопы попадают на почву и разносятся взрывом на сотни километров. Взрыв в атмосфере атомной бомбы мощностью несколько килотонн приводит к паданию продуктов распада в тропосферу. Такие осадки могут выпадать в течение примерно месяца и покрыть территорию в несколько тысяч километров.

В результате взрыва термоядерной супербомбы происходит выброс продуктов деления в стратосферу. Стратосферные осадки могут продолжаться в течение целого года и за это время «обработать» целое полушарие, накрыв тех, на кого нападали, и тех, кто нападал.

Огромная интенсивность радиоактивных осадков, выпавших после взрыва первой водородной бомбы над Тихим океаном 1 марта 1954 года, вызвала удивление у специалистов. Они не ожидали, что эти осадки будут настолько «грязными». Серьезно была загрязнена территория площадью более 17 000 квадратных миль, что сравнимо с размерами такого штата, как Массачусетс. Однако причина этого явления стала ясна, когда стало известно, что

центральный термоядерный заряд был окружен оболочкой из U-238, в котором под действием быстрых нейтронов началась цепная реакция. Это не только привело к усилению силы самого взрыва, но и к выбросу большого количества продуктов деления по сравнению с атомной бомбой, сброшенной на Хиросиму.

Осадки, выпавшие на землю в результате испытаний атомного оружия, пока вызвали небольшой прирост фоновой радиации на планете. Но этого может оказаться достаточно для роста числа раковых заболеваний, увеличения нежелательных генетических изменений и сокращения средней продолжительности жизни. Самые оптимистичные высказывания на этот счет сводятся к тому, что повышение радиационного фона и сами радиоактивные осадки неизбежно приведут к повышению скорости мутаций (см. главу 12) и непредсказуемым последствиям для будущих поколений.

Среди продуктов деления есть один изотоп, который наиболее опасен для жизни. Это стронций-90 (с периодом полураспада 28 лет), который применяется в атомных батареях. Через почву и воду стронций попадает в растения, а оттуда в организмы животных и человека. Особая опасность стронция-90 для человека объясняется его химическим сходством с кальцием, поэтому он может замещать кальций в костях, оставаясь там на очень долгое время. Поэтому, попав один раз в организм, стронций-90 остается там на большую часть жизни.

Стронций-90 — одно из тех веществ, которые лишь недавно заняли свое место в нашем повседневном окружении; оно не встречалось в земной коре в значимых количествах до той поры, пока человек не расщепил атомное ядро. Однако сегодня, за время жизни одного поколения, его можно без труда обнаружить в костях практически любого человека и у любого позвоночного существа на Земле. Большие количества стронция-90 до сих пор содержатся в стратосфере и рано или поздно попадут в кости животного или человека.

Концентрация стронция-90 измеряется в *стронциевых единицах* (с. е.). Одна с. е. соответствует одному микромикроюри стронция, приходящемуся на один грамм кальция в организме. *Кюри* — это единица радиации (названная в честь супругов Кюри), первоначально соответствовала радиационной активности одного грамма радия, находящегося в равновесии с продуктом его распада, радоном. Но в настоящее время, согласно международной системе СИ, она означает 37 миллиардов единичных распадов за одну секунду. Микромикроюри означает одну триллионную долю кюри, или 2,12 распада за минуту. Тогда стронциевая единица соответствует 2,12 радиоактивного распада за минуту на один грамм присутствующего в организме кальция.

Содержание стронция-90 в человеческом скелете очень сильно меняется в зависимости от места проживания и рода работы

человека. Встречаются люди, у которых содержание стронция в костях в несколько десятков раз превышает среднее значение. По причине высокой скорости обмена веществ в растущих костях у детей в среднем стронция в 4 раза больше, чем у взрослых. Сами средние значения тоже меняются, поскольку зависят, главным образом, от рациона питания. (Кстати, в этом смысле молоко вовсе не такой опасный продукт, как принято считать, поскольку кальций, поступающий с овощами, содержит больше связанного стронция-90. «Фильтрационная система» коровы предохраняет молоко от радиоактивного стронция, который она потребляет с кормом.) Статистические оценки содержания стронция-90 в костях граждан США, опубликованные в 1959 году, колеблются в пределах от 1 с. е. до чуть более 5 с. е. (В качестве «максимально допустимого» уровня Комиссия по радиационной защите США определила значение 67 с. е.) Но сами по себе средние значения мало что значат, поскольку стронций-90

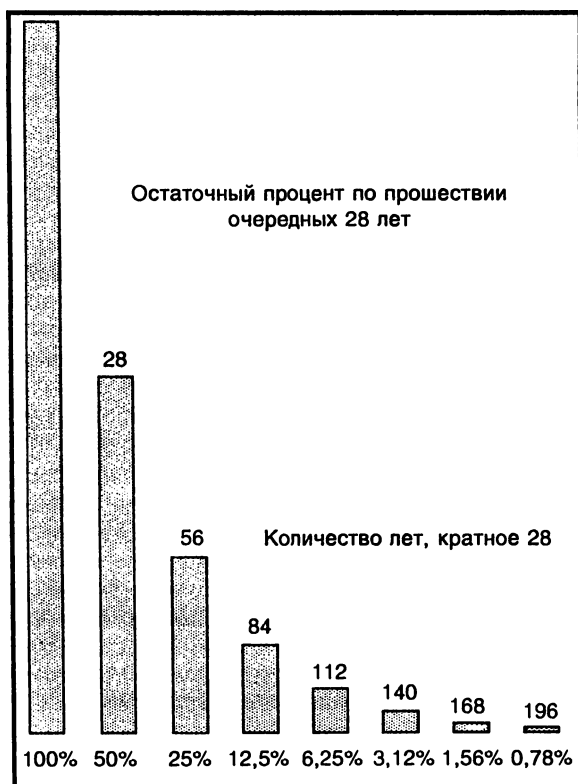


Диаграмма радиоактивного распада стронция-90 на протяжении примерно 200 лет

имеет тенденцию скапливаться в «горячих точках» костей, где реальный уровень радиации настолько высок, что может вызвать лейкемию или рак.

Большое значение радиационного эффекта, помимо прочего, привело к появлению нескольких систем его измерения. Одна из таких систем, так называемая «рентгеновская» (названная по имени первооткрывателя рентгеновских лучей), построена на количестве ионов, образующихся под действием рентгеновского или гамма-излучения. Позднее в качестве единицы излучения был предложен *рад* (сокращение от слова «радиация»), который соответствует энергии 100 эрг, поглощенной 1 граммом вещества.

Очень важна природа излучения. Так, рад больших и массивных частиц намного «увесистее» и вызывает более сильные химические изменения в тканях, чем тот же рад в случае обычного света, поэтому альфа-частицы, например, представляют куда большую опасность, чем легкие электроны.

С химической точки зрения вред, наносимый радиацией, преимущественно обусловлен разрушением молекул воды (из которых большей частью и состоят живые ткани), а также образованием высокоактивных молекулярных остатков (*свободных радикалов*), которые вступают в реакцию с веществами из живых тканей. Облучение спинного мозга, вызывающее нарушение его кроветворной способности, является одной из самых тяжелых форм лучевой болезни, и если ее запустить, то она неизбежно приводит к смерти.

Многие ученые убеждены, что огромная опасность таится в радиоактивных осадках, выпадающих в результате испытаний ядерного оружия. Американский химик Л. Полинг утверждает, что радиоактивный дождь после взрыва всего одной супербомбы может вызвать по всему миру до 100 000 смертельных исходов от лейкемии и других болезней. Он также отмечает, что радиоактивный углерод-14, образующийся под действием нейтронного облучения в результате ядерного взрыва, представляет серьезную генетическую опасность. По этой причине Полинг проявляет высокую активность, призывая запретить ядерные испытания, снизить опасность военного противостояния и прекратить гонку ядерных вооружений. С другой стороны, некоторые не менее известные ученые, например Э. Теллер, не принимают всерьез последствия радиоактивных осадков.

Разумеется, симпатии большинства людей на Земле целиком на стороне таких ученых, как Полинг, о чем говорит тот факт, что ему присуждена Нобелевская премия мира за 1963 год. (Девятью годами ранее он был удостоен Нобелевской премии по химии, став, как и его коллега Мария Кюри, одним из немногих, кто был удостоен этой награды дважды.)

Осенью 1958 года Соединенные Штаты, Советский Союз и Великобритания заключили соглашение по приостановлению ис-

пытаний ядерного оружия (что, однако, не удержало Францию от испытания своей первой атомной бомбы в 1960 году). И всего за три прошедших с этого момента года ситуация заметно выправилась: концентрация стронция-90, достигнув максимума, начала спускаться вниз и уже в 1960 году достигла безопасного уровня. Но за предыдущие 13 лет — в результате взрыва около 150 бомб — в атмосферу уже попало 25 миллионов кюри стронция-90 и цезия-137 (другой опасный продукт деления). Лишь две из этих бомб были взорваны во время войны, остальные же в качестве эксперимента, но все вместе они принесли невосполнимый урон природе и человеку.

Но уже в 1961 году, без предупреждения, Советский Союз в одностороннем порядке прекратил мораторий и продолжил испытания. Учитывая тот факт, что СССР взорвал термоядерную бомбу невиданной мощности, США также были вынуждены продолжить эксперименты. Мировая общественность гневно отреагировала на эти события, и по всему миру прокатилась волна протеста против ядерных испытаний.

Наконец, 10 октября 1963 года главы трех ведущих ядерных держав подписали договор о частичном запрещении проведения ядерных взрывов, в котором были запрещены испытания ядерного оружия в атмосфере, на земле и под водой. Были разрешены лишь подземные ядерные взрывы, которые не вызывают радиоактивные осадки. Этот договор стал самым обнадеживающим шагом в направлении сохранения жизни на Земле начиная с атомной эры. В настоящее время главная опасность остается в том, что к этому договору до сих пор не присоединились еще две страны, располагающие атомным оружием, — Франция и Китай.

Термоядерный синтез

В течение более чем двух десятков лет в головах физиков-ядерщиков вызревала еще более заманчивая идея, чем укрощение цепной реакции. Они мечтали овладеть секретами термояда: термоядерный синтез способен полностью изменить весь мир. Реакции ядерного синтеза, протекающие на Солнце, — единственный источник всех форм энергии и самой жизни на Земле. Если бы нам удалось воспроизвести и научиться контролировать подобные процессы у себя на планете, мы бы навсегда решили все энергетические проблемы. А запасы топлива в этом случае неисчерпаемы, как океан, поскольку основой топлива является обычный водород.

Уже не в первый раз водород выступает в роли топлива. Почти сразу после его открытия и изучения свойств водород был опробован в качестве нового вида химического топлива. В 1801 го-

ду американский ученый Р. Хэр изобрел кислородно-водородную горелку, которая быстро нашла широкое применение в промышленности. Однако теперь, в атомный век, водород ждала просто ослепительная карьера.

Термоядерный синтез, как источник энергии, имеет ряд неоспоримых преимуществ перед реакцией расщепления ядра. При одном и том же количестве топлива (по весу) по мощности термоядерный реактор в 5—10 раз превышает аналогичную ядерную силовую установку. Один килограмм водорода при ядерном синтезе дает более 70 миллионов кВт·ч энергии. Кроме того, при термоядерном синтезе не образуется никаких побочных продуктов, требующих хранения и переработки. И наконец, в случае отклонения от режима ядерный синтез просто заглохнет и остановится, в то время как реакция деления может выйти из-под контроля, что может закончиться взрывом.

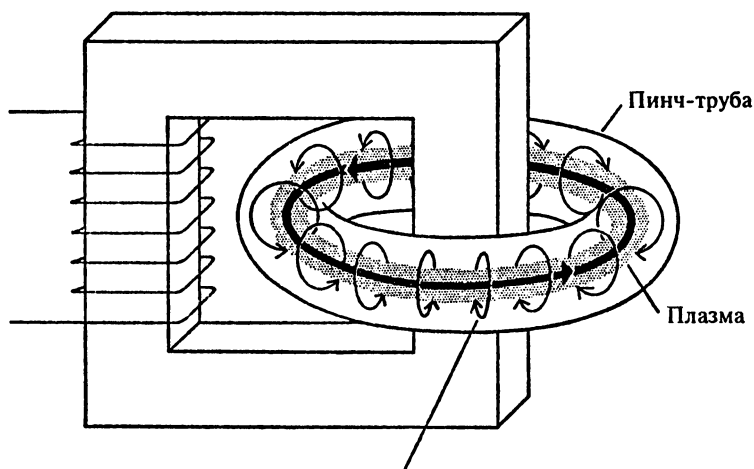
Среди трех известных изотопов водорода самый легкий и самый распространенный водород-1, однако он труднее всего вступает в реакцию термоядерного синтеза. Да, именно он является основным топливом на Солнце, но там его запасы исчисляются триллионами кубических метров, наряду с этим — за счет чудовищной гравитации — он удерживается в сжатом состоянии в центральной зоне в условиях многомиллионной температуры. В таких условиях в реакцию вступают лишь доли процента водорода, но при огромной массе этого оказывается достаточно.

Легче всего в реакцию ядерного синтеза вступает водород-3, однако он присутствует в земной атмосфере в столь малых количествах, а его получение сопряжено с очень большими затратами, что под вопросом оказывается сама целесообразность его использования в качестве топлива.

Остается водород-2, который «податливее» водорода-1 и намного более распространен, чем тритий. В природе на один атом дейтерия приходится 6000 атомов обычного водорода, но этого оказывается вполне достаточно. В Мировом океане содержится 35 триллионов тонн дейтерия, чего хватит на все обозримое будущее.

Но возникают новые проблемы. Это может удивить, поскольку термоядерная бомба уже давно существует. Если удалось эту бомбу взорвать, то почему нельзя построить термоядерный реактор? Чтобы произвести термоядерный взрыв, нужен запал в виде цепной реакции деления. Но для силового термоядерного реактора нужен запал «помягче», чтобы после начала синтеза сохранить жесткий контроль над скоростью процесса — иначе возможен взрыв.

Первая из этих двух проблем не так уж сложна. Мощный электрический ток, звуковые волны высокой энергии, лазерные лучи и тому подобные средства могут быстро создать температуру в миллионы градусов. Технически такой процесс вполне осуществим.



Охватывающее магнитное поле

«Магнитная бутылка», созданная для удержания разогретой газоводородной плазмы. Круговая труба называется тор

Куда большая трудность заключается в том, чтобы при этой температуре удерживать синтезируемый водород в нужном месте. Вряд ли можно рассчитывать на материал, способный выдержать температуру более 100 миллионов градусов. Первый шаг к решению состоит в том, чтобы понизить плотность газа намного ниже нормального давления; это уменьшит его теплоемкость, но энергия атомов водорода останется высокой. Второй шаг основан на высочайшей изобретательности. При очень высокой температуре все атомы полностью теряют свои электроны и образуется *плазма* (этот термин предложил И. Лэнгмюр), состоящая из электронов и голых ядер. Поскольку частично в ней присутствуют и заряженные частицы, почему бы вместо обычного контейнера не использовать сильное магнитное поле? А тот факт, что магнитные поля удерживают заряженные частицы и плотно «сжимают» их потоки в узкий шнур, был установлен еще в 1907 году, и тогда же этот эффект получил свое название, *пинч-эффект* (от английского слова «pinch» — «сжимать»). Идея «магнитной бутылки» была опробована и дала положительные результаты — но только на очень небольшие промежутки времени. Плазменный шнур в этой бутылке сразу после сжатия начинал извиваться как змея и мгновенно распадался на фрагменты.

Затем предлагалось приложить к концам трубки достаточно мощное магнитное поле так, чтобы плазма удерживалась внутри и не могла вытечь наружу. Если бы плазму при 100 миллионах градусов удалось удержать хотя бы секунду, то началась бы реакция синтеза и система начала бы давать энергию. Эту энергию

можно было бы направить на усиление мощности магнитного поля и на поддержание высокой температуры. На этом этапе реакции синтеза вся получаемая энергия направляется на поддержание самого процесса. Но, чтобы предотвратить вытекание плазмы хотя бы в течение секунды, необходимо внести изменение в схему.

Поскольку вытекание плазмы происходит на торцах трубки, нужно изменить ее форму: сделать в виде тора или даже восьмерки. Плазмотрон-восьмерку в 1951 году изобрел Шпитцер и назвал его «стелларатор». Более удачный вариант придумал советский физик Л. Арцимович. Его конструкция называется «Тороидальная камера магнитная» (сокращенно «Токамак»).

«Токамак» работает только с очень разреженными газами, советские специалисты, при давлении водорода 1×10^{-6} атмосфер, сумели получить температуру 100 миллионов градусов и удержать ее в течение одной сотой секунды. Такой разреженный водород нужно удерживать более секунды; если советским ученым удастся сделать водород-2 в 10 раз плотнее и затем удержать его в течение секунды, то они смогут добиться успеха.

Одновременно с испытаниями на «Токамаке» американские физики проводят опыты на установке собственной конструкции «Скайллэк», которая предназначена для удержания более плотного газа и поэтому рассчитана на более короткое время удержания.

В течение более 20 лет физики упорно продвигаются к овладению тайнами термояда. Больших достижений пока нет, но и поводов для отказа от идеи тоже нет.

Часть вторая **БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ**

Глава 10 **МОЛЕКУЛА**

Органическая материя

Слово «молекула» (в переводе с латинского «маленькое количество») первоначально означало самую маленькую, неделимую частицу вещества. И в известном смысле это действительно так, поскольку молекулу любого вещества нельзя поделить на части таким образом, чтобы она не потеряла свойства, присущие этому веществу. Конечно, разрушить молекулу можно. Например, молекулу сахара или воды можно разделить на атомы или группы атомов, но это будет уже не сахар и не вода. Даже молекула водорода потеряет свои химические свойства, если ее поделить на два атома, из которых она состоит.

Если в XX веке основное внимание физиков занимал атом, то основные открытия в области химии в этот период были связаны с молекулами. Химики смогли разработать детальную картину строения даже самых сложных молекул, выявить роль специфических молекул в живых системах, создать новые, искусственные молекулы; научились, зная структуру молекулы вещества, с поразительной точностью предсказывать его свойства.

В середине XX столетия особое внимание исследователей привлекли сложные молекулы белков и нуклеиновых кислот, которые играют ключевую роль в жизнедеятельности тканей организма. Для исследования молекул белков и нуклеиновых кислот были привлечены новейшие методы, разработанные химиками и физиками к тому времени. Две науки: *биохимия*, изучающая химические реакции, протекающие в живых организмах, и *биофизика*, которая изучает физические явления, лежащие в основе жизнедеятельности, слились, положив начало новой дисциплине — *молекулярной биологии*. Благодаря открытиям молекулярной биологии, сделанным всего за несколько десятков лет ее существования, четкая граница между живой и неживой материей почти стерлась.

Еще полтора века назад о строении даже самых простых молекул ничего не было известно. Самое большое, что смогли сде-

лать химики начала XIX века, — это поделить всю материю на две большие категории. Еще со времен алхимиков было замечено, что все вещества в соответствии с их поведением при нагревании можно разделить на две четко разграниченные группы. Вещества, принадлежащие к первой группе — например, поваренная соль, свинец, вода, — не изменяют своих свойств после нагревания до высокой температуры. И действительно, при нагревании соль может раскалиться, свинец — расплавиться, вода — превратиться в пар, но если эти вещества охладить до исходной температуры, они полностью восстановят свои первоначальные свойства. Вещества, относящиеся ко второй группе — например, сахар или оливковое масло, — изменяют свои свойства под воздействием высокой температуры: сахар обгорает при нагревании и остается обгорелым после охлаждения, оливковое масло испаряется, но не превращается обратно в жидкость при последующем снижении температуры. Со временем ученые поняли, что вещества, устойчивые к температуре, имеют неживую природу и содержатся в воздухе, Мировом океане или почве. Горючие вещества обычно имеют органическое происхождение и производятся из живой материи либо из органических остатков после ее смерти. В 1807 году шведский химик Я. Берцелиус назвал вторую группу веществ — тех, что горят, — *органическими*, поскольку их происхождение непосредственно или опосредованно связано с живыми организмами, все же остальные вещества получили название *неорганических*.

На заре своего становления химия занималась преимущественно неорганическими веществами. Изучение свойств неорганических газов привело к созданию атомной теории. По мере развития этой теории становилось ясным, как устроены молекулы. Исследования показали, что неорганические молекулы состоят из небольшого числа различных атомов, причем количественное соотношение атомов в молекуле может быть различным. Например, молекула воды состоит из двух атомов водорода и одного атома кислорода, молекула поваренной соли — из одного атома натрия и одного атома хлора, молекула серной кислоты состоит из двух атомов водорода, одного атома серы и четырех атомов кислорода.

Когда химики стали изучать состав органических веществ, то перед ними предстала другая картина: два разных вещества могли иметь один и тот же состав, при этом свойства этих веществ были совершенно не похожи. Например, этиловый спирт состоит из двух атомов углерода, одного атома кислорода и шести атомов водорода. Точно такой же состав имеет и диметиловый эфир, но при комнатной температуре первое вещество (этиловый спирт) — жидкость, а второе (диметиловый эфир) — газ. Другое отличие заключается в том, что органические молекулы содержат гораздо большее количество атомов, чем простые неорганические

молекулы, и закономерности соединения атомов в молекулы органических веществ не были ясны. Соединения атомов в органических молекулах не подчинялись простым закономерностям, которые были выявлены для молекул неорганических веществ.

Берцелиус сделал вывод, что органическая химия подчиняется своим закономерностям. Только живая ткань, утверждал он, может создавать органические вещества. Эта точка зрения Берцелиуса является типичным примером *витализма*.

Несколько позднее, в 1828 году, немецкий химик Ф. Вёлер, ученик Берцелиуса, получил органическое вещество в лаборатории! Открытие Вёлера было подобно удару молнии! Как такое может быть? При нагревании цианата аммония, вещества несомненно неорганического происхождения, получается вещество белого цвета, идентичное по свойствам *мочевине*, одному из компонентов мочи. Согласно воззрениям Берцелиуса, только почки живого организма могли создать мочевину, а Вёлер получил ее из неорганического материала с помощью небольшого нагрева.

Вёлер многократно повторил свой эксперимент, прежде чем решился обнародовать свое открытие. И когда он, наконец, сделал это, часть химиков, в том числе Берцелиус, с недоверием отнеслись к результатам Вёлера. Но другие поверили ему. Они синтезировали много других органических соединений из неорганических веществ. Первым, кто осуществил синтез органического вещества из элементов, был немецкий химик А. Кольбе, который в 1845 году синтезировал уксусную кислоту. Это сокрушило витализм Берцелиуса. Все больше становилось ясным, что органические и неорганические молекулы подчиняются единым химическим законам. Со временем выявили простое различие между органическими и неорганическими веществами: все вещества, содержащие углерод (за исключением нескольких простых соединений, таких, как двуокись углерода), являются органическими, все остальные — неорганическими.

По мере накопления сведений химия усложнялась и у химиков появилась потребность в обозначении химических элементов простыми символами. Удобную рациональную систему символов предложил Берцелиус. По этой системе элементы обозначались первыми буквами их латинских названий. Так, углерод стали обозначать буквой С, кислород — буквой О, водород — буквой Н, азот — буквой N, серу — буквой S, фосфор — буквой Р и т. д. Если названия двух или более элементов начинались с одной и той же буквы, то для их обозначения использовали две буквы. Например, кальций обозначили как Ca, хлор — Cl, кадмий — Cd, кобальт — Co, хром — Cr. Железо получило символ Fe («ferrum»), серебро — Ag («argentum»), золото — Au («aurum»), медь — Cu («cuprum»), олово — Sn («stannum»), ртуть — Hg («hydragyrum»),

сурьма — Sb («stibium»), натрий — Na («natrium»), калий — K («kalium»).

С помощью этих символов стало легко обозначать состав молекулы. Воду обозначали H_2O (молекула воды состоит из двух атомов водорода и одного атома кислорода), поваренную соль — $NaCl$, серную кислоту — H_2SO_4 и т. д. Такое обозначение называется *эмпирической формулой* вещества. Эмпирическая формула показывает, из каких атомов состоит молекула данного вещества, но из нее нельзя узнать о том, каким образом эти атомы соединяются в молекулу. Другими словами, по эмпирической формуле нельзя судить о структуре вещества.

Барон Ю. фон Либих, который работал с Вёлером, в своих исследованиях определил состав некоторых органических соединений и тем самым положил начало *химическому анализу* как составной части органической химии. Либих сжигал небольшие количества органических веществ и тщательно собирал газы, которые при этом образуются (главным образом CO_2 и пары воды H_2O). Затем он взвешивал продукты, получающиеся в результате горения, и определял, насколько их вес больше веса исходного вещества. Так он мог узнать, какое количество (по весу) углерода, водорода и кислорода содержится в исходном веществе. Зная весовое содержание элементов и их атомный вес, нетрудно было рассчитать, сколько атомов данного элемента входит в состав данного вещества. Например, Либих таким путем установил, что молекула этилового спирта имеет формулу C_2H_6O .

Но метод Либиха имел существенный недостаток: с его помощью нельзя было установить содержание азота в органических веществах. Французский химик Ж. Дюма изобрел свой метод сжигания, который позволял собирать выделяющийся при горении газообразный азот. С помощью своего метода он в 1841 году с беспрецедентной точностью определил газовый состав атмосферы.

Методы органического анализа становились все более и более тонкими. Образцом действительного чуда стал изящный по тем временам микроаналитический метод, предложенный австрийским химиком Ф. Преглем. В начале 1900-х годов он разработал способ, позволявший провести точный анализ органических соединений в количествах, которые едва можно было рассмотреть невооруженным глазом. За это Ф. Прегль в 1923 году был удостоен Нобелевской премии в области химии.

К сожалению, знание только эмпирических формул органических веществ мало что дает для понимания их химических свойств. В противоположность неорганическим соединениям, состоящим из двух-трех, самое большее из дюжины атомов, органические молекулы очень большие. Вот как выглядят эмпирические формулы морфина и стрихнина, которые определил Либих, — $C_{17}H_{19}O_3N$ и $C_{21}H_{22}O_2N_2$ соответственно.

Имея дело с такими большими молекулами, химики находились в большом затруднении, не зная, какие атомы на каком конце молекулы располагаются. Вёлер и Либих обнаружили, что некоторые группы атомов — общие для молекул разных веществ. Эти группы (небольшие части молекул) были названы *радикалы*. Велер и Либих разработали теорию, согласно которой молекулы различных веществ состоят из определенных радикалов, количество которых и сочетание для разных веществ различны. Кое-что в понимании структуры веществ благодаря их теории упростилось, но и радикалы не внесли существенного понимания в то, как устроены молекулы органических веществ. До сих пор невозможно было ответить на вопрос, почему два вещества с одинаковой эмпирической формулой — как, например, этиловый спирт и диметиловый эфир — различаются по своим свойствам.

На это явление впервые в 20-х годах XIX века обратили внимание Либих и Вёлер. Один изучал группу так называемых «гремучих» веществ, другой — группу изоцианатов. Оба ученых заметили, что эти группы веществ имеют одинаковые эмпирические формулы, иначе говоря, состоят из одинаковых элементов, причем элементы в них присутствуют в одной и той же пропорции. Берцелиус, тогдашний химический диктатор, узнав об этом, с большим недоверием отнесся к выводам Либиха и Вёлера. Несомненно, его рассудок был в смятении, когда в 1830 году он сам обнаружил подобные вещества. Берцелиус назвал вещества, в которых одни и те же элементы присутствуют в одинаковой пропорции, но которые различаются по свойствам, *изомерами*, что в переводе с греческого означает «*равные части*». Но и этот термин мало что внес в понимание структуры органических соединений, которая в те дни оставалась загадкой.

Свет в конце туннеля, коим являлась органическая химия, забрезжил в 50-х годах XIX века, когда химики заметили, что каждый атом способен соединяться только с определенным числом других атомов. Например, атом водорода может взаимодействовать только с одним атомом другого вещества: при взаимодействии водорода с хлором образуется хлористый водород, HCl , но никогда не сможет образоваться HCl_2 . Точно так же атомы хлора и натрия: каждый из них может взаимодействовать с одним партнером, поэтому они и образуют NaCl . Атом кислорода может взаимодействовать с двумя атомами-партнерами. Пример такого взаимодействия — вода (H_2O). Азот может вступить во взаимодействие с тремя атомами: пример этому — аммиак (NH_3). Углерод способен соединяться с четырьмя атомами: CCl_4 (тетрахлористый углерод).

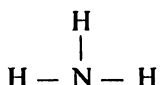
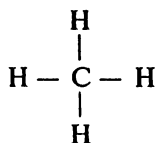
Короче говоря, создавалось такое впечатление, будто каждый атом обладал определенным количеством «крючков», при помощи которых он мог сцепляться с другими атомами. Для того что-

бы обозначить способность одних атомов взаимодействовать с другими, английский химик Э. Франкленд назвал эти «крючки» *валентностью* (это слово имеет латинское происхождение и переводится как «сила»).

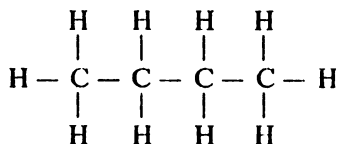
Немецкий химик Ф. Кекуле пришел к интересному умозаключению: если предположить, что атомы углерода имеют валентность 4 и, хотя бы частично, используют эти валентности для того, чтобы образовать цепочку, то, двигаясь вдоль этой цепочки, можно нарисовать план «органических джунглей». Его идею подхватил шотландский химик А. Купер, который предложил силы, связывающие атомы в молекулу (*связи*, как они теперь называются), обозначать в виде маленьких черточек. Появилась возможность «строить» органические молекулы из однотипных деталей, как модели из деталей детского конструктора.

В 1861 году Кекуле издал учебник с большим количеством таких формул и убедительно доказал их удобство и значение для понимания структуры вещества. С той поры в органическую химию вошло понятие *структурная формула*.

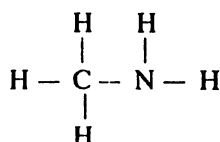
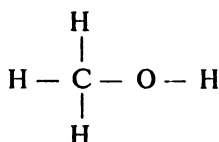
Например, молекулы метана (CH_4), аммиака (NH_3) или воды (H_2O) соответственно можно изобразить следующим образом:



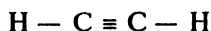
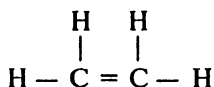
С введением в практику структурных формул органические молекулы стали представлять в виде цепочек из атомов углерода, к которым по бокам прикреплены атомы водорода. Молекула бутана (C_4H_{10}) имеет такую структурную формулу:



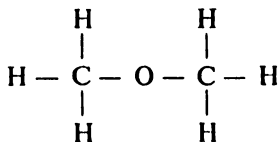
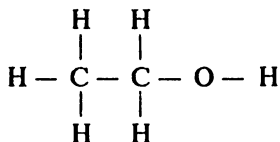
Кислород или азот также могут прикрепляться к цепи. Метиловый спирт (CH_3O) и метиламин (CH_3N) можно изобразить следующим образом:



Если у атома больше одного «крючка» (у углерода их целых четыре), то не обязательно, чтобы к каждому «крючку» цеплялся свой атом. Два соседних атома могут сцепляться и двумя, и даже тремя связями, как соединяются атомы углерода в молекулах этилена (C_2H_4) и ацетилена (C_2H_2) соответственно:



Теперь становится ясно, каким образом молекулы, имеющие одинаковый состав атомов, могут различаться по своим свойствам. В изомерах может различаться порядок соединения атомов. Если вернуться к вышеупомянутым изомерам этилового спирта и диметилового эфира, то их структурные формулы выглядят следующим образом:



Чем большее число атомов входит в молекулу, тем больше вариантов их размещения внутри молекулы, тем большее количество изомеров может существовать. Например, молекула гептана, которая состоит из семи атомов углерода и шестнадцати атомов водорода, может иметь 9 разновидностей соединений. Иными словами, может существовать девять разновидностей гептана, различающихся по своим свойствам. Эти девять изомеров будут похожи друг на друга, но это лишь «семейное» сходство. Химики получили все девять изомеров гептана, а десятый не нашли — лучшее доказательство верности системы Кекуле.

У вещества, состоящего из 40 атомов углерода и 82 атомов водорода, существует 62,5 триллиона изомеров. Органические молекулы такого размера отнюдь не редкость.

Только атомы углерода могут соединяться друг с другом, образуя длинные цепочки. Другие элементы могут образовывать цепочку длиной не более 12 атомов. Поэтому неорганические молекулы обычно имеют небольшие размеры, и среди них редко встречаются изомеры. Большие размеры органических молекул создают возможность существования множества изомерных форм. На сегодняшний день известно около 2 миллионов органических соединений, ежедневно создаются новые, и бесконечное число молекул ждет своего открытия.

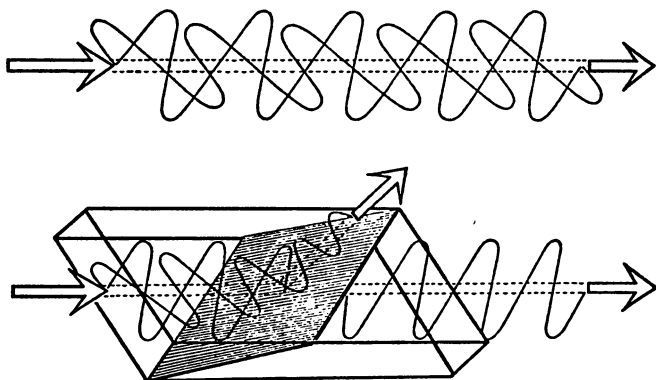
Структурные формулы сегодня повсеместно используются как незаменимый ориентир для понимания природы органической

молекулы. Для упрощения химии часто изображают формулы молекул в виде последовательности групп атомов (радикалов), из которых она состоит. Такими радикалами могут быть метильный (CH_3) или метиленовый (CH_2). В упрощенном виде формула бутана может быть изображена так: $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$.

Тонкости молекулярной структуры

Во второй половине XIX века химики открыли новый, необычный тип изомерии, который оказался очень распространенным в химии живого. В основе этого открытия лежал странный, ничем не объяснимый эффект, который некоторые органические вещества оказывают на лучи света, проходящие через них.

На поперечном сечении луча обычного света видно, что волны, из которых он состоит, колеблются во всех плоскостях: вверх-вниз, из стороны в сторону и под углом. Такой свет называют *неполяризованным*. Однако если неполяризованный свет пропустить через прозрачный кристалл исландского шпата, то луч будет выходить из кристалла *поляризованным*. Атомная структура кристалла будет пропускать лишь волны, колеблющиеся в одной определенной плоскости (аналогично узкой щели в заборе, через которую люди могут протиснуться только боком). Существуют специальные приспособления, такие как, например, *призма Николя*, изобретенная шотландским физиком В. Николем в 1829 году. Такие призмы пропускают световые волны, колеблющиеся только в одной плоскости. В настоящее время для этой и других целей используются такие материалы, как поляроид (кристаллы из нитроцеллюлозы со встроенными в нее молекулами сульфата



Поляризация света. Световые волны обычно колеблются во всех плоскостях (*вверх*). Призма Николя пропускает только волны, колеблющиеся в одной плоскости, отражая все остальные, поэтому проходящий сквозь призму свет является поляризованным в одной плоскости (*вниз*)

хирина и йода, оси молекул которых ориентированы параллельно), который первым изготовил в 1930 году Э. Ланд.

Как установил в 1808 году французский физик Э. Малюс, отраженный свет, как правило, бывает плоско поляризованным лишь частично (это он ввел термин *поляризация*, следуя гипотезе Ньютона о полюсной природе света — единственный случай, когда Ньютон был не прав, но тем не менее за гипотезой навсегда сохранилось его имя). Поэтому поляроидные солнцезащитные очки приглушают сверкающие лучи света, отражающиеся от окон зданий, стекол машин и даже покрытия автомагистралей.

В начале XIX века французский физик Ж. Био обнаружил, что если пропускать луч плоско поляризованного света через кристалл кварца, то происходит поворот плоскости поляризации луча. Это означает, что в кристалл входят световые волны, колеблющиеся в одной плоскости, а выходят — колеблющиеся в другой. Способность веществ изменять плоскость поляризации света называли *оптической активностью*. Одни кварцевые кристаллы поворачивают плоскость поляризации по часовой стрелке (*правозавернутый*), другие — против часовой стрелки (*левозавернутый*).

Био обнаружил, что некоторые органические вещества, такие, как камфора и винная кислота, обладают оптической активностью. Он считал, что причина поворота плоскости поляризации вызвана асимметрией расположения атомов в молекулах. Несколько десятилетий это предположение оставалось умозраительным.

В 1844 году Л. Пастер (ему было тогда всего 22 года) занялся этим вопросом. Он изучал два вещества: винную кислоту и виноградную кислоту. Молекулы обеих кислот имели один и тот же состав, но раствор винной кислоты изменял плоскость поляризации света, а раствор виноградной кислоты был инертен в этом отношении. Пастер предположил, что причина оптической активности кроется в симметричности кристаллов, что кристаллы винной кислоты — асимметричны, тогда как кристаллы виноградной кислоты — симметричны. Исследуя под микроскопом кристаллы солей обеих кислот (соли винной кислоты называются тартратами, а соли виноградной кислоты — рацематами), Пастер, к своему удивлению, обнаружил, что и те и другие — асимметричны, только кристаллы рацемата были неоднородны: половина из них имела форму, такую же, как у кристаллов тартрата, форма второй половины кристаллов являлась зеркальным отображением формы первой половины. Другими словами, рацемат состоял из двух типов зеркально асимметричных кристаллов, то есть похожих друг на друга и в то же время различающихся, как и левая и правая руки человека.

Пастер скрупулезно отделил «левые» кристаллы от «правых», приготовил из них растворы и пропустил через эти растворы свет. Раствор кристаллов, обладающих такой же асимметрией, как и

кристаллы тартрата, вращал плоскость поляризации света в ту же сторону и на тот же угол, как и раствор тартрата (это и были кристаллы тартрата). Второй раствор поворачивал плоскость поляризации в противоположную сторону, но на тот же угол, что и раствор тартрата. Причина, почему рацематы не обладают оптической активностью, была установлена: «левые» и «правые» кристаллы сводили оптическую активность друг друга на нет.

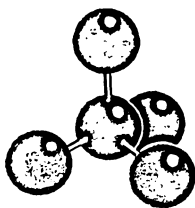
Затем Пастер обратно превратил оба типа рацемата в кислоты (раздельно), добавив к их растворам ионы водорода. (Соль — это вещество, которое получается при замене одного или нескольких ионов водорода в молекуле кислоты на другие положительно заряженные ионы, такие, как натрий или калий.) Он обнаружил, что каждая из полученных виноградных кислот обладает оптической активностью: одна вращает плоскость поляризации света в ту же сторону, что и винная кислота (потому что это и была винная кислота!), другая — в противоположную сторону.

Позже были обнаружены и другие пары зеркально асимметричных веществ (их называли *энантиоморфами*, что в переводе с греческого означает «противоположные формы»). В 1863 году немецкий химик И. Вислиценус обнаружил, что молочная кислота (которая появляется в молоке при его скисании) образует такие пары. Более того, он показал, что свойства обеих форм молочной кислоты идентичны, за исключением вращения плоскости поляризации света. Это явилось еще одним подтверждением существования зеркально асимметричных веществ.

Все это хорошо, но в чем кроется тайна асимметрии? Что делает молекулы зеркально противоположными? На эти вопросы Пастер не мог ответить. Био, который первый предположил существование молекулярной асимметрии, прожив восемьдесят восемь с лишним лет, не дождался доказательств правильности своего предположения.

Ответ был найден в 1874 году, спустя 12 лет после смерти Био. Два молодых химика, 22-летний голландец Ж. Вант Гофф и 27-летний француз Ж. Ле Бель, независимо друг от друга разработали новую теорию валентных связей углерода, объясняющую строение зеркально асимметричных молекул. (Позднее Вант Гофф показал, насколько схожи законы, определяющие поведение веществ в растворах, с законами, определяющими поведение газов. За работы, проведенные в этом направлении, в 1901 году он стал первым, кто был удостоен Нобелевской премии в области химии.)

Кекуле все четыре связи, которыми обладал атом углерода, изображал в одной плоскости. Он это делал не потому, что связи действительно располагались в одной плоскости, а потому, что их было удобнее так изображать на плоском листе бумаги. Вант Гофф и Ле Бель предложили трехмерную модель атома углерода, согласно которой связи находились в двух взаимно перпендику-



Четырехгранная модель атома углерода

лярных плоскостях: две связи в одной плоскости и две — в другой. Эту модель легко изобразить, если представить атом углерода «стоящим» на трех любых связях, четвертая связь при этом будет направлена вертикально вверх. Если представить, что атом углерода располагается в центре тетраэдра (это четырехгранная геометрическая фигура, грани которой представляют собой треугольники), то четыре связи будут направлены к вершинам этой фигуры. Эту модель так и называли: *тетраэдрная модель атома углерода*.

Теперь давайте присоединим к этим четырем связям два атома водорода, один атом хлора и один атом брома. Независимо от того, какой атом к какой связи мы будем присоединять, мы всегда получим одно и то же расположение атомов в молекуле. Попробуйте, и вы увидите сами! Возьмите сливу — это будет атом углерода. Воткните в нее под одинаковыми углами четыре зубочистки — они будут связями. А теперь насадите на другой конец зубочисток, в любом порядке, две маслины (атомы водорода), одну оливку (атом хлора) и одну вишню (атом брома). Теперь поставьте свою модель на три ноги так, чтобы одна маслина была наверху, и вы увидите, что расположение ног (ягод) по часовой стрелке такое: маслина, оливка, вишня. Вы теперь можете поменять оливку и вишню местами, так чтобы порядок ног изменился и стал: маслина, вишня, оливка. Но это изменение кажущееся, и, чтобы это увидеть, достаточно повернуть модель так, чтобы маслина, которая была ногой, стала «головой», а маслина, что была наверху, стала ногой. Какой порядок ног получился теперь? Опять маслина, оливка, вишня!

Другими словами, если хотя бы два из четырех атомов (или группы атомов), связанных с углеродом, одинаковые, возможен только один вариант расположения атомов в молекуле. (Это справедливо только в случае, если три или все четыре связи идентичны.)

Но если все четыре атома (или группы атомов), взаимодействующие с углеродом, разные, то ситуация меняется. В этом случае возможны два варианта расположения атомов в молекуле: один вариант является зеркальным отображением второго. Рассмотрим пример: вы накололи на зубочистку, торчащую вверх, вишню (это

«голова»), а на стоящие ноги маслину, оливу и ягоду крыжовника (порядок указан по часовой стрелке). Если вы поменяете маслину и оливу местами, то порядок ног поменяется: олива, маслина, крыжовник. И как бы вы ни поворачивали вашу модель с ног на голову, какую бы из ягод вы ни делали «головой», первоначальный порядок — маслина, олива и крыжовник — не восстановится. В случае четырех различных атомов, взаимодействующих с углеродом, вы всегда будете получать два варианта структуры молекулы, причем один из них будет зеркальным отображением другого. Попробуйте, и вы увидите сами!

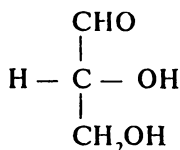
Таким образом, Вант Гофф и Ле Бель раскрыли тайну асимметрии оптически активных веществ. Вещества, являющиеся зеркальными двойниками, которые вращают плоскость поляризации света в противоположных направлениях, всегда содержат атомы углерода, образующего связи с четырьмя различными атомами. Один из двойников вращает плоскость поляризации света влево, другой — вправо.

Появлялось все больше и больше подтверждений правильности тетраэдрной модели Вант Гоффа и Ле Беля, и к 1885 году их теория (частично благодаря поддержке уважаемого Вислиценуса) стала повсеместно принятой.

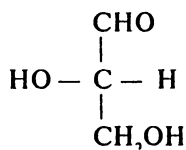
Идею трехмерной структуры использовали и для других атомов. Немецкий химик В. Мейер успешно применил ее к азоту, английский химик В. Поуп — к сере, селену и олову. Швейцарский химик А. Вернер, доказав ее правомерность еще для нескольких элементов, в начале 80-х годов XIX века стал разрабатывать *координационную теорию*, согласно которой структура сложных неорганических соединений объяснялась на основе тщательного анализа расположения атомов или групп атомов вокруг одного центрального атома. За эту работу Вернер в 1913 году получил Нобелевскую премию в области химии.

Две виноградные кислоты, полученные Пастером, были названы *d*-винной (*правозавернутая*) и *l*-винной (*левозавернутая*), для них были составлены структурные формулы, являющиеся зеркальным отображением одна другой. Но какая формула соответствует какой кислоте? Какая была правозавернутой и какая левозавернутой? В то время объяснить этого не мог никто.

Для того чтобы отличать правозавернутое вещество от его левозавернутого двойника, ученым был необходим некий эталон, стандарт для сравнения. В качестве такого стандарта немецкий химик Э. Фишер выбрал простое вещество *глицеральдегид*, относящееся к сахарам, которые в то время наиболее часто исследовались на предмет оптической активности. Одну из форм глицеральдегида он произвольно обозначил как левозавернутую и назвал ее *L*-глицеральдегидом, а ее правозавернутого двойника — *D*-глицеральдегидом. Структурные формулы Фишера для обеих форм были таковы:



D-глицеральдегид



L-глицеральдегид

Все вещества, структура которых — а для ее установления использовались соответствующие методы — походила на структуру L-глицеральдегида, автоматически попадали в L-серию, и к их названиям добавлялась приставка «L», независимо от направления вращения плоскости поляризации. Как оказалось, левозавернутая форма винной кислоты, согласно концепции Фишера, принадлежит не к L-, а к D-серии. (В настоящее время вещество, согласно структуре попадающее в D-серию, но вращающее плоскость поляризации света влево, обозначается приставкой «D(−)». Соответственно другие варианты приставок будут следующими: «D(+)», «L(−)» и «L(+)».

Этот интерес ученых, проявляемый к такому, казалось бы, не очень важному свойству соединений, как оптическая активность, не является праздным любопытством. Оказывается, почти все вещества, присущие живым организмам, содержат асимметрический атом углерода. И в каждом таком случае организм использует только одну из зеркальных форм вещества. Более того, эта форма для веществ, принадлежащих к одному химическому классу, одинакова. Например, все простые сахара, обнаруженные в живых тканях, принадлежат к D-серии, а все аминокислоты (структурные единицы, из которых построены белки) — к L-серии.

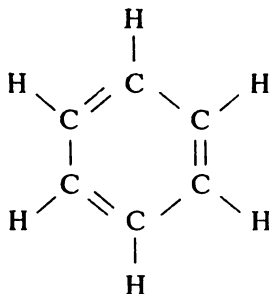
В 1955 году химик Ж. Бижо установил, наконец, какая структура будет вызывать поворот плоскости поляризации света вправо, а какая — влево. Оказалось, что Фишер случайно оказался прав в определении левозавернутой и правозавернутой форм.

Через несколько лет после прочного утверждения системы структурных формул Кекуле для одного вещества с относительно небольшим размером молекулы, никак не удавалось определить структурную формулу. Это вещество называлось *бензол*, открытый Фарадеем в 1825 году. Согласно химическому анализу, молекула бензола состояла из шести атомов углерода и шести атомов водорода. Где остальные связи, полагающиеся атомам углерода? (Шесть атомов углерода, связавшись друг с другом одинарными связями в цепочку, могут связать еще четырнадцать атомов водорода, известно даже вещество, которое так устроено, — гексан C_6H_{14}). Чтобы на шесть атомов углерода пришлось шесть атомов

водорода, атомы углерода должны быть связаны между собой двойными или тройными связями, тогда структурная формула бензола может быть такой: $\text{CH} = \text{C} - \text{CH} = \text{CH} - \text{CH} = \text{CH}_2$. Но несоответствие состояло в том, что свойства известных веществ с подобной структурой в корне отличались от свойств бензола. Более того, было точно установлено, что молекула бензола симметрична, а шесть атомов углерода и шесть атомов водорода не могут образовать цепную симметричную молекулу.

В 1865 году Кекуле сам занялся разгадыванием этой загадки. Он вспоминал несколько лет спустя, что структурную формулу молекулы бензола он увидел, когда ехал в омнибусе, погруженный в мечты, и задремал; перед ним появилась цепочка из шести атомов углерода; она казалась живой и танцевала, вдруг, как змея, цепочка свернулась в кольцо. Кекуле, вздрогнув, проснулся и вскричал: «Эврика!» Тайна молекулы бензола была разгадана: это было кольцо.

Кекуле предположил, что взаиморасположение атомов в молекуле бензола таково:



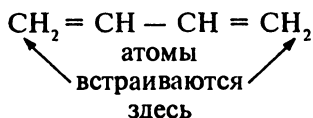
По крайней мере, такая молекула была симметричной. Стало ясно, почему замещение любого из шести атомов водорода другим атомом неизменно приводит к образованию одного и того же продукта. Все атомы углерода в молекуле бензола структурно равноценны, поэтому не имеет значения, в каком месте кольца происходит замещение водорода — продукт такого замещения будет одним. Более того, кольцевая структура предполагает только три способа замещения двух атомов водорода: можно заместить их у соседних атомов углерода либо у атомов углерода, отстоящих друг от друга на один или два атома в цепочке. Действительно, у дважды замещенного бензола существуют только три изомера.

Однако план строения молекулы бензола, предложенный Кекуле, вызывает один щекотливый вопрос. Как правило, вещества с двойными связями более реактивны, то есть менее устойчивы, чем вещества с одинарными связями. Вещества с двойными связями легко присоединяют водород или другие атомы, разрушить их также не представляет труда. Однако бензольное кольцо чрез-

вычайно устойчиво, оно гораздо устойчивее, чем цепочка углеродных атомов с одинарными связями. (Органические вещества, в молекулы которых входит бензольное кольцо, образуют класс органических соединений, называемых *ароматическими*; все остальные вещества называются *алифатическими*). В молекулу бензола трудно ввести дополнительные атомы водорода, ее также очень тяжело разрушить.

Ученые XIX века, занимавшиеся органической химией, не могли объяснить столь странную стабильность двойных связей бензола, и этот вопрос не давал им покоя. Вопрос мог казаться частным, но непокорная молекула бензола создавала угрозу созданной Кекуле системе структурных формул. Попытки объяснить этот парадокс неизменно терпели неудачи, и это вызывало сомнения в правильности всей системы.

Наиболее близким к разрешению этого вопроса в XIX веке стал немецкий химик И. Тиле. В 1899 году он предположил, что если двойные и одинарные связи чередуются, то углероды, находящиеся на ближайших концах пары двойных связей, каким-то образом нейтрализуют друг друга, взаимно снижают реактивность. Для примера рассмотрим вещество, которое называется *бутадиен*. Это наиболее простой пример вещества, молекула которого содержит *сопряженные двойные связи*, то есть две двойных связи, разделенные одинарной связью. Если в молекулу ввести еще два атома, то они присоединятся к концевым углеродам, как показано в формуле, приведенной ниже. Этим и объясняли устойчивость бензола: поскольку три двойные связи бензольного кольца находятся в составе циклической структуры, то они нейтрализуют активность друг друга.



Лучшее объяснение химической устойчивости бензола было дано примерно через 40 лет, когда появилась новая теория двойных связей, согласно которой связь атомов рассматривалась в аспекте распределения электронов.

Химическую связь, которую Кекуле представлял как черточку между атомами, стали рассматривать как общую пару электронов (см. главу 5). Каждый атом, который вступает во взаимодействие с другим атомом, делит с партнером один из своих электронов, в свою очередь, партнер также отдает один свой электрон на образование связи. Углерод, у которого на внешней электронной оболочке находится четыре электрона, может связаться с четырьмя атомами, а водород, у которого всего один электрон, может образовать связь только с одним атомом.

И тогда совершенно закономерно встал вопрос: как атомы делят электроны? Очевидно, что два атома углерода поделят пару электронов между собой поровну, поскольку количество электронов у них одинаковое. Но если в качестве примера рассмотреть молекулу воды, H_2O , то можно увидеть, что у атома кислорода электронов больше, чем у атома водорода, поэтому атом кислорода будет притягивать общие с двумя атомами водорода пары электронов к себе. Это означает, что атом кислорода, вследствие избытка электронов, приобретет небольшой отрицательный заряд, а атомы водорода, у которых будет наблюдаться недостаток электронов, будут обладать небольшим положительным зарядом. Молекулы, содержащие кислород-водородную пару атомов, например молекулы воды или этилового спирта, имеют небольшой отрицательный заряд на одном конце и небольшой положительный заряд — на другом. Можно сказать, что у этих молекул есть два полюса, поэтому их называют *полярными* молекулами.

Такое представление о структуре молекул впервые предложил в 1912 году голландский химик П. Дебай, который позже продолжил свои исследования в Соединенных Штатах. С помощью электрического поля он количественно измерил полярность молекул. В постоянном электрическом поле полярные молекулы поворачиваются отрицательно заряженным концом в сторону положительного полюса и положительно заряженным концом — в сторону отрицательного, то есть ориентируются. Легкость, с которой они это делают, является мерой *дипольного момента* молекулы. В начале 30-х годов XX столетия определение дипольного момента молекулы стало обычным исследованием, а в 1936 году Дебай за разработку этого метода, а также и за другие научные достижения был удостоен Нобелевской премии в области химии.

Новый взгляд на структуру молекулы объяснял ряд неясных моментов, которые прежние представления разъяснить не могли. Например, он объяснил некоторые аномалии, связанные с температурой кипения веществ. Как правило, чем больше молекулярный вес вещества, тем выше у него температура кипения. Но это правило имеет много исключений. Вода с молекулярным весом 18 кипит при $+100^\circ C$, тогда как пропан, молекулярный вес которого 44, кипит при куда более низкой температуре — $42^\circ C$. Почему? Причина в том, что молекулы воды — полярные, они обладают большим дипольным моментом, а пропан — соединение неполярное. Полярные молекулы имеют склонность ориентировать друг друга: отрицательный полюс одной молекулы примыкает к положительному полюсу другой рядом расположенной молекулы. В результате электростатического взаимодействия между соседними молекулами отделить их друг от друга становится труднее, поэтому такие вещества имеют довольно высокие температуры кипения. По этой же причине и этиловый спирт кипит при гораздо более высокой температуре — $+78^\circ C$, чем его изомер диметиловый эфир, температура кипения

которого — 24 °С, хотя молекулярный вес обоих соединений одинаков: 46. Величина дипольного момента у молекулы этилового спирта большая, а у молекулы диметилового эфира он мал. У воды же дипольный момент еще больше, чем у этилового спирта.

Когда де Бройль и Шрёдингер сформулировали новую точку зрения, согласно которой электроны рассматривались не как четко определенные частицы, а как волны (см. главу 7), взгляд на природу связи между атомами в молекуле претерпел дальнейшие изменения. В 1939 году американский химик Л. Полинг опубликовал книгу, которую он назвал «Природа химической связи». В этой книге Полинг представил свою квантово-механическую концепцию молекулярных связей. Его теория, наконец, объяснила парадокс стабильности молекулы бензола.

Согласно теории Полинга, электроны, образующие связь, *резонируют* между атомами, которые они соединяют. Он показал, что при некоторых условиях электрон занимает один из нескольких возможных уровней (вероятность нахождения в каждом положении различная). Поэтому электрон, с его волновыми свойствами, лучше представлять распределенным в зоне, которая является средней взвешенной вероятностей нахождения электрона на его возможных уровнях. Чем больше область распределения электрона, тем более стабильно вещество. Такая *резонансная стабилизация* чаще всего встречается в молекулах, у которых связи между атомами находятся в одной плоскости и которые симметричны, поскольку в симметричной молекуле существует несколько альтернативных уровней для электрона (как частицы).

Бензольное кольцо плоское и симметричное, и Полинг показал, что для его структуры в действительности характерно не чередование двойных и одинарных связей, а «размазывание» электронов по кольцу. Другими словами, электроны распределяются по кольцу равномерно, поэтому все связи между атомами углерода в молекуле бензола одинаковы, что делает их более прочными и менее реактивными по сравнению с обычными одинарными связями.

Резонансные структуры хорошо объясняют химические свойства веществ, но их трудно представить на бумаге в виде символов. Поэтому старой системой изображения молекул, которую предложил Кекуле, хотя она не полностью показывает их структуру, пользуются повсеместно и будут пользоваться в обозримом будущем.

Органический синтез

После того как Кольбе в 50-х годах XIX века синтезировал уксусную кислоту, появился химик, который систематически и методично занялся синтезом органических соединений в своей

лаборатории. Это был француз П. Бертело. Он получил много простых органических веществ из еще более простых неорганических веществ, таких, как окись углерода. Бертело постепенно стал синтезировать более сложные соединения и получил, среди прочих, этиловый спирт. Это действительно был *синтетический* этиловый спирт, но его нельзя было отличить от *настоящего*, потому что он был настоящим этиловым спиртом.

Этиловый спирт — хорошо известное всем органическое вещество, которое высоко ценилось во все времена. Мысль о том, что химик может синтезировать этиловый спирт из угля, воздуха и воды (уголь служил источником углерода, воздух — источником кислорода, вода — источником водорода) без использования фруктов и зерна на начальном этапе, породила много соблазнов и наделила химика репутацией человека, который совершает чудо. Во всяком случае, это событие прославило органический синтез.

Однако для человечества Бертело сделал нечто более значительное. Он первым начал создавать соединения, которые не существуют в природе. Он взял глицерин, открытый Шееле в 1778 году (Шееле получил глицерин при разрушении животных жиров), и соединил его с кислотами, которые встречаются в природе, но не встречаются в жирах. Таким образом были получены жировые вещества, совершенно не похожие на те, которые присутствуют в организме.

Бертело положил начало новому направлению в органической химии — синтезу веществ, которых нет в природе. Это означало возможность появления *синтетических материалов*, которые могли стать заменителем — скорее всего, худшим заменителем — некоторых натуральных продуктов, труднодобываемых или не имеющих в природе в достаточном количестве. Но это означало также и возможность появления *синтетических материалов*, которые что-то улучшат в природе.

Идея улучшить природу, а не просто дополнить ее, со времени Бертело постоянно развивалась.

Родиной органической химии стала Германия. Вёлер и Либих, которые имели много последователей, были немцами. До середины XIX века в Англии не было ученых, занимавшихся органической химией так, как занимались этой отраслью науки химики Германии. В английских колледжах учителя легковесно относились к этому предмету и преподавали его «во время ленча», полагая, что органическая химия мало кого интересует (может быть, и не желая, чтобы кто-нибудь из студентов интересовался ею). Поэтому странным кажется факт, что первый выдающийся результат в области органического синтеза, получивший мировое признание, был получен именно в Англии.

Это произошло так. В 1845 году в лондонском Королевском научном колледже, наконец, решили ввести серьезный курс химии и пригласили из Германии молодого преподавателя. Это был 27-летний А. фон Гофман. Пригласили его по предложению мужа королевы Виктории принца Альберта (родом из Германии).

Гофмана интересовал широкий круг проблем и в том числе каменноугольная смола, которую он исследовал еще под руководством Либиха. Каменноугольная смола — это черное вязкое вещество, которое получается из угля при сильном нагревании без доступа воздуха. Смола не слишком привлекательный материал, но из нее можно было получать органические соединения. Например, в 1840-х годах из нее было получено большое количество достаточно чистого бензола и анилина, содержащего азот и близкого к бензолу, который Гофман первым получил из каменноугольной смолы.

Примерно через 10 лет по прибытии в Англию Гофман познакомился с 17-летним студентом, которому преподавал химию в колледже. Это был В. Перкин, очень увлеченный химией. Гофман разглядел в нем талант ученого и поручил ему заниматься веществами, получаемыми из каменноугольной смолы. Энтузиазм Перкина не знал границ. Он устроил у себя дома лабораторию и по возвращении из колледжа работал там вечерами.

Гофман, который также интересовался применением достижений химии в медицине, в один из дней 1856 года размышлял вслух о возможности синтеза хинина — природного вещества, которое использовали для лечения малярии. В те дни структурные формулы еще не вошли в практику химиков, и был известен только состав хинина. В то время никто даже не подозревал, насколько сложна его структура. (Только в 1908 году была установлена подлинная структура хинина.)

Не смущаясь сложностью задачи, Перкин, которому было 18, взялся за синтез хинина. Он начал с аллилтолуидина, одного из компонентов каменноугольной смолы. В его молекуле, по представлениям юного ученого, содержалось около половины количества различных атомов, входящих в состав молекулы хинина. Перкин полагал, что если взять две молекулы аллилтолуидина, добавить к ним недостающие атомы кислорода (смешав их с бихроматом калия, который отдает кислород другим молекулам в смеси с ними), то можно получить молекулу хинина.

Но Перкин ничего, кроме грязной красно-коричневой липкой массы, не получил. Тогда он попробовал заменить аллилтолуидин анилином и получил такую же липкую массу, только черноватую. Ему показалось, что он различает в ней включения какого-то вещества пурпурного цвета. Он добавил к полученной массе спирт, и бесцветная жидкость окрасилась в красивый пурпурный цвет. Перкин сразу же решил, что он получил новое вещество, которое можно использовать в качестве красителя.

Красители всегда пользовались большим спросом и были в то время дорогими. Хорошие красители, которые прочно окрашивали бы ткань в яркие цвета, не выгорали и не линяли, были редкостью. Тогда использовали темно-синий краситель из растений индиго и родственный ему растительный краситель из вайды (известный в Британии со времен начала Римской империи); был известен *тирский пурпурный*, который получали из улиток (таких улиток выращивали в больших количествах на своих мануфактурах жители древнего Тира¹; во времена поздней Римской империи жены коронованных особ рожали детей в комнатах, стены которых были украшены портьерами пурпурного цвета), был тогда и *ализарин*, растительный краситель красноватого цвета, получаемый из марены (слово «ализарин» происходит от арабского слова, означающего «сок»). К этим красителям, доставшимся в наследство от древних и средневековых времен, впоследствии добавились некоторые красители из тропиков и неорганические пигменты (сегодня они используются, главным образом, в живописи).

Поэтому понятно возбуждение Перкина, который решил полученное им пурпурное вещество попробовать в качестве красителя. По совету друга он отправил образец своего вещества одному из шотландских промышленников, который был заинтересован в красителях. Ответ не заставил себя ждать: пурпурное вещество обладало свойствами хорошего красителя. Промышленник интересовался, нельзя ли его регулярно получать по приемлемой цене. Перкин занялся оформлением патента на краситель (может ли 18-летний юноша получить патент — вопрос в то время был спорный; но в конечном счете он его получил), бросил колледж и занялся бизнесом.

Это было не просто: Перкину пришлось начать с нуля. Но уже через шесть месяцев он производил краситель, который назвал «анилиновый пурпурный» — вещество, которого не существовало в природе и которое превосходило все известные природные красители по своим качествам.

Французские красильщики, которые освоили новый продукт гораздо быстрее, чем консервативные англичане, назвали его цвет сиреневым, а краситель — мовеин. Он быстро стал предметом повального увлечения (этот период иногда даже называют *сиреневым десятилетием*), и Перкин разбогател. В возрасте 23 лет он стал всемирно признанным авторитетом в области красителей.

Лед тронулся. Многие исследователи, занимавшиеся органической химией, воодушевились ошеломляющим успехом Перкина, последовали его примеру, занялись синтезом красителей и добились успеха в этой области. Перкин также вернулся к органическому синтезу и в 1858 году получил пурпурно-красный кра-

¹ Т и р — столица древней Финикии. (Примеч. пер.)

ситель *фуксин*, который позднее был назван французскими красильщиками «*magenta*» (французы в то время, как и сейчас, были мировыми законодателями в моде, они называли краситель в честь итальянского города, под которым в битве 1859 года французская армия одержала победу над австрийцами).

Гофман в 1865 году вернулся в Германию с новым интересом к производству красителей. Он разработал целую группу лиловых красителей, известных как *лиловые Гофмана*. В середине XIX века в мире использовалось не менее трех с половиной тысяч синтетических красителей.

Химики в своих лабораториях синтезировали и природные красящие вещества. Немец К. Грабе одновременно с Перкином в 1859 году синтезировал ализарин (Грабе подал заявку на патент на день раньше Перкина), в 1880 году немецкий химик А. фон Байер разработал способ синтеза индиго (за достижения в разработке красителей фон Байер в 1905 году был удостоен Нобелевской премии в области химии).

Перкин в 1874 году оставил бизнес и в возрасте 35 лет вернулся к своей первой любви — научным исследованиям. В 1875 году он разработал метод синтеза кумарина (природного вещества, которое имеет приятный запах свежескошенного сена), это дало старт развитию синтетической парфюмерной индустрии.

В Германии в это время бурно развивалась органическая химия. Перкин в одиночку не мог долго удерживать превосходство Англии в этой области, и к концу XIX века Германия почти полностью завладела монополией в сфере производства синтетических материалов. Немецкий химик-органик О. Валлах продолжил начинание Перкина и занялся синтезом ароматических веществ, предназначенных для парфюмерной промышленности. За свои достижения Валлах в 1910 году был удостоен Нобелевской премии в области химии. Получивший образование в Швейцарии, хорватский химик Л. Ружичка первым в мире получил синтетический мускус, широко применяемый в парфюмерии. В 1938 году он стал одним из лауреатов Нобелевской премии в области химии. Но в годы Первой мировой войны Великобритания и Соединенные Штаты Америки отказались от химической продукции, производимой в немецких лабораториях, и были вынуждены развивать собственную химическую промышленность.

Система структурных формул, предложенная Кекуле через три года после получения Перкином первого красителя, позволила химикам получать, можно сказать, изображения органических молекул. Органики больше не занимались синтезом сложных молекул, подобных молекуле хинина, руководствуясь только догадками и надеждой; у них появились методы, благодаря которым они шаг за шагом могли выявлять структуру молекулы.

Химики учились заменять один атом (или группу атомов) в молекуле на другой, разрывать кольца и, наоборот, замыкать открытые цепи атомов в циклы; делить группы атомов или удлинять углеродную цепь, добавляя к ней атом за атомом. Специальные методы, позволяющие изменять детали в структуре молекулы, до сих пор носят имена химиков, которые их разработали. Например, Перкин разработал метод включения в молекулы соединения групп из двух атомов углерода нагреванием в присутствии двух химических реактивов: уксусного ангидрида и уксуснокислого натрия. Этот способ до сих пор называется *реакцией Перкина*. Учитель Перкина, Гофман, открыл, что если соединение, содержащее атом азота, подвергнуть воздействию метилоксида в присутствии серебра, то кольцевая структура разорвется и от нее отщепится атом азота. Эта реакция носит название *молекулярная деградация Гофмана*. В 1877 году французский химик Ш. Фридель и американец Д. Крафтс разработали способ присоединения к бензольному кольцу короткой углеродной цепочки, нагревая вещество в присутствии хлористого алюминия. Эта реакция известна сегодня как *реакция Фриделя—Крафтса*.

В 1900 году французский химик В. Гриньяр открыл, что металл магний можно соединять с углеродными цепями разными способами; свое открытие он представил в виде докторской диссертации. За открытие *реакции Гриньяра* он в 1912 году поделил Нобелевскую премию в области химии с соотечественником П. Сабатье, который совместно с Дж. Сендеренсом разработал метод, позволяющий с помощью дробленого никеля ввести атомы водорода в участки углеродной цепи, содержащие двойные связи. Эта реакция известна как *реакция Сабатье—Сендеренса*.

В 1928 году немецкие химики О. Дильс и К. Альдер разработали метод, позволяющий присоединить два конца одной углеродной цепи к противоположным концам двойной связи другой углеродной цепи, формируя таким образом кольцо. За разработку *реакции Дильса—Альдера* ученые получили Нобелевскую премию в области химии в 1950 году.

Другими словами, анализируя изменения в структурных формулах веществ под действием различных химикатов и определенных условий, химики-органики пополняли свод основных правил, по которым одно вещество можно было превратить в другое. Сделать это было не просто. Каждое вещество имело свои особенности, и каждая модификация была связана со своими трудностями. Но основные пути были обозначены, и искусные ученые находили верные решения, которые вели к прогрессу.

Используя как инструмент структурную формулу, химики производили анализ какого-либо соединения, после чего синтезировали на его основе новые соединения. Было установлено, что при взаимодействии простых спиртов с металлическим натрием высвобождаются только атомы водорода, которые связа-

ны с кислородом, а связанные с атомами углерода — нет. Было известно, что одни органические вещества в определенных условиях присоединяют атом водорода, а другие — нет. Оказалось, что вещества, которые присоединяют водород, содержат двойные или тройные связи, и водород присоединяется именно по этим связям. Благодаря этим знаниям возникло новое направление в химическом анализе органических соединений: стали определять не только атомный состав исследуемого вещества, но и природу атомных групп, входящих в структуру молекулы. Высвобождение водорода при добавлении натрия означало наличие в веществе атома водорода, связанного с кислородом; присоединение водорода к веществу означало наличие в нем двойных или тройных связей. Если молекула оказывалась слишком сложной для анализа, ее можно было разделить на более простые фрагменты (для этого существовали свои методы); установив структуру фрагментов, можно было получить представление о структуре молекулы целиком.

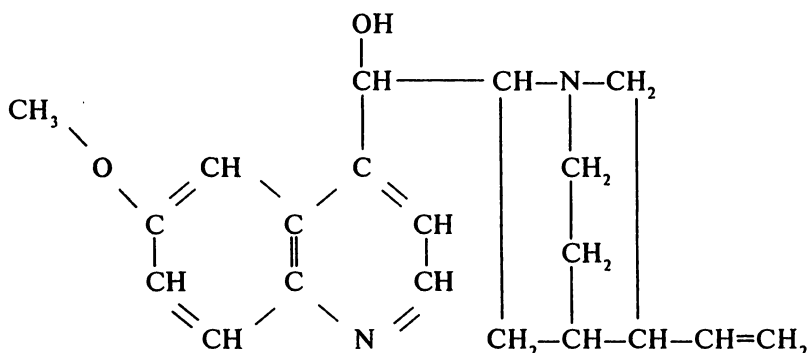
Структурные формулы помогали химикам анализировать структуру некоторых необходимых человеку природных соединений, а затем синтезировать их или похожие на них соединения в своих лабораториях. Редкие, дорогие или добываемые с большим трудом природные вещества можно было легко получать в лаборатории. Или, как в случае с красителями, полученными из каменноугольной смолы, в лабораториях можно было создавать продукты лучшего качества, чем аналогичные природные вещества.

Один из случаев улучшения природных качеств связан с кокаином, обнаруженным в листьях растения кока, которое произрастает в Боливии и Перу, а выращивают его преимущественно на Яве. Подобно таким веществам, как стрихнин, морфин или хинин, кокаин является *алкалоидом*, то есть соединением растительного происхождения, содержащим азот; в небольших дозах оно оказывает сильное воздействие на физиологические функции человека. Алкалоиды могут оказать как лечебное действие, так и убить — в зависимости от дозы. Наиболее известный пример смертельного воздействия алкалоида на человека — это смерть Сократа, выпившего *кониин*, алкалоид болиголова.

Молекулярная структура алкалоидов в некоторых случаях бывает необычайно сложной, но это только усиливает любопытство ученых. Английский химик Р. Робинсон посвятил свою карьеру изучению алкалоидов. В 1925 году он установил структурную формулу морфина (почти целиком, сомнения были по поводу одного атома), а в 1946 году — формулу стрихнина. В знак признания важности проделанной работы Робинсон в 1947 году был удостоен Нобелевской премии в области химии.

Робинсон занимался исключительно анализом молекулярной структуры алкалоидов, не пытаясь синтезировать молекулы с

подобными структурами. Этим занялся американский химик Р. Вудвард, который вместе со своим американским коллегой В. Дюрингом в 1944 году синтезировал хинин. Результаты начатой еще Перкином работы над синтезом этого вещества оказались потрясающими. Посмотрите, насколько сложна структурная формула хинина:



То, что Вудвард и Дюринг смогли синтезировать хинин, является не только проявлением их таланта. Они имели в своем распоряжении новые электронные теории, объясняющие структуру и поведение молекул. Вудвард продолжил работу над синтезом сложных молекул. В 1954 году он синтезировал стрихнин.

Задолго до того, как была установлена структура алкалоидов, эти вещества растительного происхождения являлись объектом пристального внимания врачей. Индейцы Южной Америки жевали листья коки, используя их как средство против усталости, которое к тому же вызывает психологический комфорт. Шотландский врач Р. Кристисон впервые применил это растение в Европе. (Это был не первый подарок медицине со стороны знахарей и травников. Таким же образом вошли в медицинскую практику хинин и стрихнин, а также опий, дигиталис, кураре, атропин, строфантин и резерпин.)

Кокаин не только создает у человека хорошее настроение. Медики выявили и другое свойство: кокаин делает тело нечувствительным к боли. Американский врач К. Коллер установил, что кокаин можно использовать в качестве обезболивающего средства, если наносить его раствор вокруг глаза. Тогда пациент не будет ощущать боли во время операции на глазе. Одним из великих достижений медицины XIX века стала победа над болью. В 1799 году Х. Дэви получил газ *закись азота* — N_2O — и изучил его действие на организм человека. Он выяснил, что при вдыхании этого газа человек возбуждается: он начинает беспричинно смеяться, плакать, другими словами — вести себя безрасудно. Поэтому закись азота называли *веселящим газом*.

В начале 40-х годов XIX века американский ученый Г. Коттон обнаружил, что закись азота вызывает обезболивание, и в 1844 году американский дантист Х. Уэллс применил веселящий газ в стоматологии. К этому времени у врачей появилось более интересное обезболивающее средство.

Американский хирург К. Лонг в 1842 году применил эфир для того, чтобы усыпить пациента, которому во время сна удалил зуб. В 1846 году американский дантист В. Мортон провел в Главном госпитале Массачусетса хирургическую операцию под эфирным наркозом. Лавры первооткрывателя применения эфира для наркоза достались Мортону, поскольку Лонг не опубликовал свое открытие в медицинском журнале до того, как Мортон повторил его результат; а к более ранним публичным демонстрациям наркозного действия закиси азота Уэллсом медицинская общественность отнеслась с безразличием.

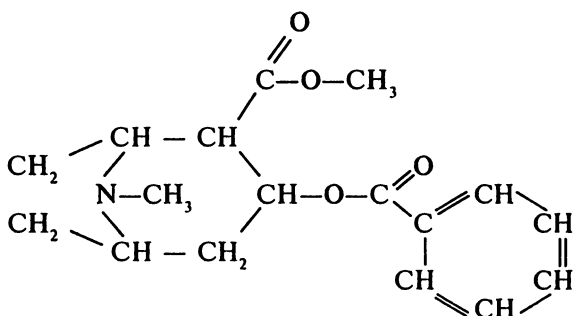
Американский поэт и врач О. Холмс предложил обезболивающие средства называть *анестетиками* (от греческого слова, означающего «нечувствительность»). Некоторые люди в то время считали, что использование анестетиков и желание избежать боли есть нечто кощунственное — ведь боль дана человеку Богом. Уважение к анестезии началось с обезболивания родов королевы Англии Виктории шотландским врачом Дж. Симпсоном.

Благодаря появлению анестезии хирурги превратились из орудующих в камере пыток мясников в представителей гуманной профессии, а после создания антисептических условий проведения операций — даже в людей, спасающих жизнь. Поэтому все новые достижения в области обезболивания вызвали огромный интерес. Особое внимание к кокаину было вызвано тем, что это вещество является *местным анестетиком*, делающим нечувствительным тот участок поверхности тела, на который его нанесли. Местные анестетики проявляют обезболивающее действие без угнетения сознания и потери чувствительности во всем теле, как это происходит в случае действия *общих анестетиков*, таких, как эфир.

Однако у кокаина есть несколько существенных недостатков. Во-первых, он может стать причиной серьезных побочных эффектов, а в случае повышенной чувствительности даже вызвать гибель пациента. Во-вторых, он может вызвать пристрастие, поэтому применять нужно с большой осторожностью. (Кокаин — один из опасных наркотиков, которые лишают человека не только чувства боли, но и других неприятных ощущений, давая ему взамен иллюзию счастья — эйфорию.) При регулярном приеме человек может привыкнуть к нему, и для достижения эйфории каждый раз будут требоваться все большие дозы. Несмотря на отрицательное действие наркотика на организм, человек становится зависимым от него, точнее, от иллюзий, которые вызывает наркотик; если прекратить его применение, у человека раз-

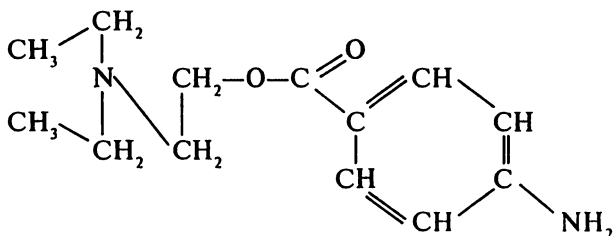
ивается болезненное состояние, называемое *синдром отмены*. Подобная *наркотическая зависимость* от кокаина и других наркотиков является важной социальной проблемой. Несмотря на решительные противодействующие меры, ежегодно в мире нелегально производится свыше 20 тонн кокаина, что приносит наркодельцам огромные прибыли. Эти прибыли — результат страдания многих и многих людей. В-третьих, молекула кокаина неустойчива, и нагревание ее при стерилизации приводит к утрате веществом анестезирующих свойств.

Структура молекулы кокаина довольно сложная:



Наиболее неустойчивой ее частью является двойное кольцо слева, к тому же эту часть молекулы труднее всего синтезировать. (Синтез кокаина долго не удавалось осуществить, только в 1923 году немецкий химик Р. Вильштеттер сделал это.) Химики синтезировали вещества, похожие на кокаин, в которых двойное кольцо не было закрыто. Оказалось, что эти вещества легче синтезировать и они были устойчивее кокаина к нагреванию. Более того, синтетические вещества, сохранив анестезирующие свойства кокаина, были лишены его нежелательных побочных эффектов.

За какие-то 20 лет немецкие химики создали десятки анестезирующих веществ, некоторые из них хорошо зарекомендовали себя. Наибольший успех был достигнут в 1909 году, когда синтезировали анестетик, имеющий следующую структурную формулу:



Вы видите, что, с одной стороны, структура нового вещества похожа на структуру кокаина. С другой стороны, что очень важно, в ней отсутствует двойное кольцо. Этой довольно простой молекулы — устойчивой, легко синтезируемой, обладающей хорошими анестезирующими свойствами и относительно небольшими побочными эффектами — не существует в природе. Но этот *синтетический заместитель* оказался гораздо лучше, чем его природный аналог. Синтезированное вещество назвали *прокаин*, сейчас оно хорошо известно под коммерческим названием *новокаин*.

Наиболее сильным и известным общим анестетиком является морфин. Его название происходит от греческого слова, означающего «сон». Морфин — алкалоид, содержащийся в опиуме, соке снотворного мака. Люди веками пользовались его свойством устранять боль и снимать напряжение от повседневной работы. Но это прекрасное обезболивающее средство коварно тем, что вызывает зависимость. Поэтому пытались найти производные морфина, которые не обладали бы этим смертельно опасным свойством. В 1898 году в употребление вошел *диацилморфин*, более известный под названием *героин*. Полагали, что это синтетическое производное морфина будет безопаснее, чем его предшественник. Но все произошло наоборот: героин оказался самым сильным и опасным из всех известных наркотиков.

Менее опасными оказались *седативные*, или успокаивающие, средства, такие, как хлорал гидрат и особенно барбитураты. Группа седативных средств появилась в 1902 году (хлорал гидрат). Благодаря снотворному действию этих веществ они стали применяться в качестве снотворных препаратов. При правильном применении эти средства достаточно безвредные, но вызывают привыкание, при передозировке могут стать причиной смерти. Приняв большую дозу барбитуратов, человек может уснуть навсегда или, по крайней мере, попытаться сделать это.

Самым известным успокаивающим средством, которое человек применяет веками, является алкоголь. Методы сбраживания фруктового сока и зерна известны с доисторических времен, как и перегонка жидкости, полученной после брожения, для изготовления более крепких напитков. Значение легких вин в регионах, где испытывается недостаток воды, есть опасность заразиться брюшным тифом или холерой; где есть общественные традиции умеренного потребления спиртных напитков — все это не позволяет рассматривать алкоголь как наркотик, хотя он вызывает зависимость, как и морфин, а если учесть количественное потребление алкоголя в мире, то даже более опасен.

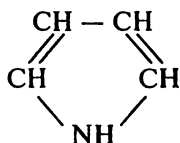
Официальный запрет на продажу спиртных напитков мало что дает. Американский эксперимент с сухим законом (1920—1933 гг.) потерпел провал. Все больше медиков склонны рассматривать алкоголизм как болезнь, а не как аморальный образ поведения.

Острые симптомы алкоголизма (белая горячка), скорее всего, обусловлены не столько самим алкоголем, сколько дефицитом витаминов в организме тех, кто мало ест, но много пьет.

Сегодня человек имеет в своем распоряжении синтетические вещества самого разного назначения, которые приносят ему и пользу и вред: взрывчатые вещества, отравляющие газы, инсектициды, гербициды, антисептики, дезинфицирующие средства, deterгенты, лекарства, наркотики — этот список можно продолжать бесконечно. Синтез новых соединений обусловлен не только потребительским спросом, но также исследовательским интересом ученых.

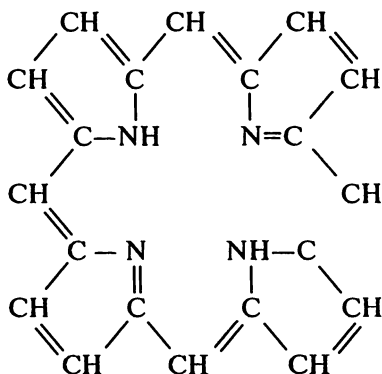
Часто бывает так, что молекулярная структура сложного вещества, будь то продукт жизнедеятельности живого организма или плод труда химика-органика, не определена, поэтому можно только строить предположения, основываясь на экспериментальной работе, тщательном изучении реакций, в которые оно может вступать. Выходом из положения является синтез вещества посредством правильного проведения химических реакций, которые приведут к получению продукта с предполагаемой молекулярной структурой. Если свойства полученного и исследуемого веществ окажутся идентичными, то химик может считать, что предполагаемая структура верна.

Впечатляющим примером может служить *гем*, часть молекулы гемоглобина, главного компонента красных клеток крови, пигмента, который придает крови красный цвет. В 1831 году французский химик Л. Ле Каню расщепил молекулу гемоглобина на две части; меньшую, составляющую всего 4 процента от общей массы гемоглобина, назвали гем. Было установлено, что эмпирическая формула гема $C_{34}H_{32}O_4N_4Fe$. Соединения, подобные гему, содержатся во многих жизненно важных веществах растений и животных, поэтому установление структуры молекулы стало чрезвычайно важной задачей для биохимиков. Прошло более 100 лет с того времени, как Ле Каню удалось получить гем, но все, что смогли сделать биохимики, — это расчленили молекулу гема на более мелкие молекулы. Атом железа (Fe) удалили легко, оставшуюся часть молекулы расщепили на четыре примерно равные части. Оказалось, что эти четыре фрагмента гема являются *пирролами* — молекулами, представляющими собой кольца, состоящие из четырех атомов углерода и одного атома азота. Структура молекулы пиррола такова:



Пирролы, полученные при расщеплении гема, содержали дополнительно один-два атома углерода, которые замещали в кольце один или несколько атомов водорода.

В 1920 году за решение этой проблемы взялся немецкий химик Г. Фишер. Поскольку каждый из пирролов являлся четвертой частью молекулы гема, он попытался соединить четыре молекулы пиррола и посмотреть, что получится. В конце концов он получил вещество, в структуре которого содержались четыре кольца. Вещество это было названо *порфин* (от греческого слова, означающего «пурпурный», поскольку оно имело пурпурный цвет). Молекула порфина должна была выглядеть так:

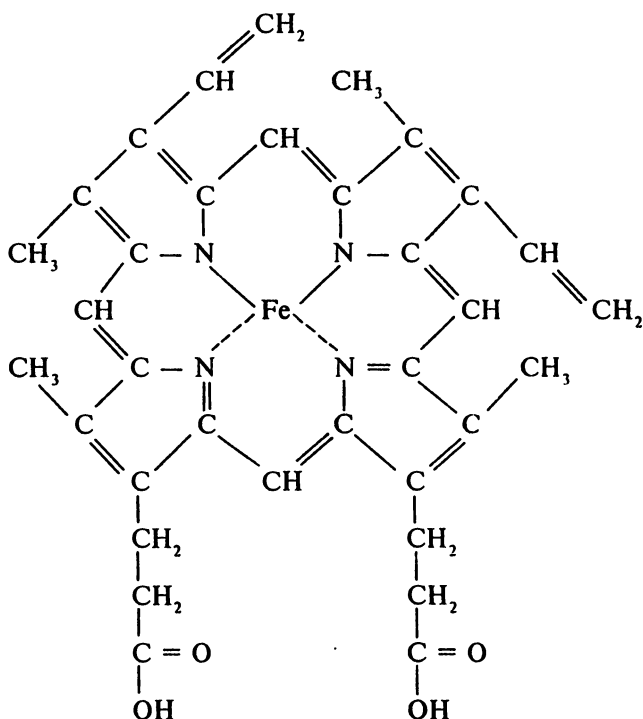


Однако молекулы пиррола, полученные при расщеплении гема, содержали небольшие боковые цепи. Эти боковые цепи сохранились после соединения пирролов в молекулу порфина. Порфины с присоединенными к ним различными боковыми цепями образуют целое семейство соединений, называемых *порфирины*. Фишеру после сравнения свойств гема со свойствами синтезированных им порфиринов стало ясно, что гем (если из него убрать атом железа) и есть порфирин. Но который? Из пирролов, полученных при расщеплении гема, можно было составить не менее 15 различных молекул порфиринов, но только один мог быть гемом.

Окончательный ответ на этот вопрос можно было получить, синтезировав все 15 веществ и сравнив их свойства между собой. Фишер поручил своим студентам провести эту трудоемкую работу: путем тщательного подбора соответствующих реакций синтезировать порфирины с каждой из 15 возможных структур. По мере получения порфиринов он сравнивал свойства каждого со свойствами природного порфирина, содержащегося в геме.

В 1928 году он обнаружил, что порфирин, который имел девятый номер, — тот самый, который он искал. Поэтому природный вариант порфирина и сегодня имеет название *порфирин IX*.

Теперь, чтобы получить гем, оставалось сделать немного: добавить к порфируну IX железо. Химики, наконец, почувствовали себя уверенно: они знали структуру очень важного соединения. Вот какую структуру гема получил Фишер в результате длительного труда:



За проделанную работу по установлению структуры гема Г. Фишер в 1930 году был удостоен Нобелевской премии в области химии.

Все великие достижения химиков-органиков в области синтеза, приходящиеся на период с XIX века по первую половину XX века, были получены с помощью тех же процессов, которыми пользовались еще древние алхимики, — это смешивание и нагревание веществ. Нагревание было единственным верным способом увеличить энергию молекул, чтобы они могли реагировать между собой. При этом взаимодействие, как правило, носило случайный характер, да и в процессе реакции появлялись нестабильные промежуточные соединения, о природе которых можно было только догадываться.

Химики больше всего нуждались в более направленных методах повышения энергии молекул — методах, которые бы застави-

ли все молекулы двигаться примерно с одной скоростью и примерно в одном направлении. Это устранило бы случайность во взаимодействии молекул и создало условия, при которых все молекулы вели бы себя одинаково. Для этого существовал только один способ — разгонять ионы в электрическом поле, так, как разгоняют субатомные частицы в циклотронах.

В 1964 году американский химик Р. Вольфганг нашел способ придать ионам и молекулам ускорение, создав *химический ускоритель*. Вольфганг сумел разогнать ионы до скоростей, которые можно было бы получить, только нагрев вещества до температуры 10 000—100 000 °С. Более того, все ионы при этом двигались в одном направлении.

Если разогнавшиеся до столь больших скоростей ионы встретят на своем пути электроны, они присоединят их и, превратившись в нейтральные молекулы, будут двигаться с высокой скоростью дальше. Этот способ получения потока нейтрально заряженных молекул был открыт американским химиком Л. Вартоном в 1969 году.

Что касается нестабильных промежуточных соединений, образующихся при химических реакциях, то в решении этой проблемы мог бы помочь компьютер. Было необходимо составить квантово-механические уравнения, описывающие состояние электронов в различных комбинациях атомов, и просчитать варианты соединений, которые могут образоваться при столкновении атомов. В 1968 году американский химик Э. Клементи «столкнул» на экране монитора аммиак с соляной кислотой для того, чтобы получить хлорид аммония. Компьютер показал, что образующийся хлорид аммония при температуре 700 °С может существовать в виде сжатого под высоким давлением газа. Провота компьютера через несколько месяцев была подтверждена экспериментально.

Во второй половине XX века химики разработали совершенно новые теоретические и экспериментальные методы синтеза и анализа органических соединений. Они выяснили неизвестные ранее детали химических реакций, синтезировали соединения, которые прежде не умели синтезировать или получали в очень маленьких количествах. Бурное развитие химии может преподнести нам еще не одно чудо.

Полимеры и пластики

При виде молекул, похожих на молекулы хинина или гема, мы представляем, с какими сложностями столкнется даже современный химик при работе с этими веществами. Синтез подобных соединений состоит из многих стадий, требует выполнения многих условий; трудно представить, как можно получить нуж-

ный продукт в больших количествах без помощи живых организмов (я не имею в виду людей). На самом деле в природе встречаются лишь несколько молекул, более сложных по строению, чем молекулы гема или хинина.

Разумеется, есть природные вещества, молекулы которых состоят из сотен тысяч или даже миллионов атомов, которые представляют собой набор одинаковых «кирпичей». Эти «кирпичи» связаны между собой подобно бисеру в ожерелье. Живые организмы синтезируют небольшие и простые молекулы, а затем соединяют их друг с другом в цепь. И мы увидим, как химики умеют это делать.

В живой ткани такое соединение молекул называется *конденсация*. Конденсация молекул обычно сопровождается высвобождением двух атомов водорода и одного атома кислорода в каждой точке соединения (водород и кислород образуют молекулу воды). Как в живом организме, так и в химической пробирке конденсация всегда обратима: при добавлении воды связь между структурными единицами ослабевает и цепь распадется. Этот противоположный конденсации процесс называется *гидролиз* (от греческих слов, означающих «разъединение с помощью воды»). В лабораторной пробирке гидролиз можно осуществить несколькими путями, чаще прибегают к помощи кислоты, которую добавляют к раствору вещества.

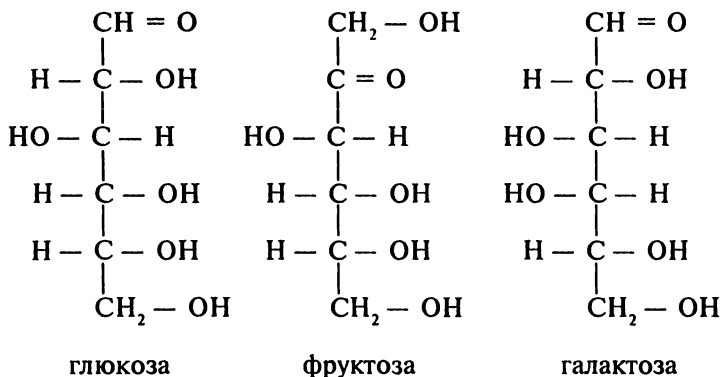
В 1812 году русский химик Г. Кирхгоф первым исследовал такие большие молекулы. Кирхгоф обнаружил, что если кипятить смесь крахмала с кислотой, то получается сахар, идентичный по свойствам *глюкозе* — сахару, получаемому из винограда. В 1819 году французский химик А. Бракон также получил глюкозу при кипячении таких растительных продуктов, как опилки, льняное волокно, кора деревьев, — все они содержали вещество, которое называется *целлюлоза*. Нетрудно было предположить, что крахмал и целлюлоза построены из молекул глюкозы, поэтому надо было установить структуру молекулы глюкозы. В те дни структурных формул еще не существовало и была известна только эмпирическая формула глюкозы $C_6H_{12}O_6$. Соотношение элементов позволяло предположить, что к каждому из шести атомов углерода была присоединена одна молекула воды — H_2O . Поэтому глюкозу и соединения с похожей структурой называли *углевод*.

Структурная формула глюкозы была установлена в 1886 году немецким химиком Г. Килиани. Он показал, что молекула этого сахара состоит из соединенных в цепь шести атомов углерода, к которым присоединены атомы водорода и группы, состоящие из атома водорода и атома кислорода (ОН). Воды, как таковой, в этом соединении не было.

В течение следующего десятилетия немецкий химик Э. Фишер, занимаясь детальным изучением строения глюкозы, выяснил, каким образом присоединяются группы, состоящие из кис-

лорода и водорода, к атомам углерода, четыре из которых оказались асимметричными. Существует 16 вариантов присоединения таких групп к шестиуглеродной цепочке, и, следовательно, существует 16 изомеров, свойства которых будут различаться. Химики синтезировали все 16 разновидностей молекулы; оказалось, что в природе существуют только некоторые из них. Предложение разделить оптически активные вещества на L-серию и D-серию было сделано Фишером по результатам определения структуры молекул сахаров. За создание структурного базиса в химии углеводов Э. Фишер в 1902 году был удостоен Нобелевской премии в области химии.

Ниже приведены формулы глюкозы и еще двух распространенных в природе сахаров — *фруктозы* и *галактозы*:



Когда химикам стала известна структура простых сахаров, выяснить, как они соединяются в более сложное вещество, было не сложно. Например, молекулы глюкозы и фруктозы конденсируются с образованием «двойного» сахара, который называется *сахароза* — этот тот сахар, который мы кладем в чай. При соединении молекул глюкозы и галактозы получается *лактоза*; в природе лактоза присутствует только в молоке.

В результате конденсации молекул сахаров могут получаться длинные цепи. Крахмал и целлюлоза как раз и являются примерами таких цепей. В обоих веществах цепи составлены из молекул глюкозы, но соединяются эти молекулы в крахмале и целлюлозе по-разному.

Особенности соединения молекул очень важны: ведь крахмал и целлюлоза совершенно не похожи друг на друга, хотя состоят из одних и тех же «единиц». Крахмал в составе того или иного продукта питания является важным компонентом рациона человека, тогда как целлюлоза несъедобна. Различие в конденсации молекул глюкозы в крахмале и целлюлозе, как установили химики, следующее. Представьте одну молекулу глюкозы повернутой

правой стороной вверх (обозначим ее буквой *М*), а другую — перевернутой вверх ногами (обозначим ее буквой *Н*). Тогда молекула крахмала может быть представлена как вереница молекул глюкозы, повернутых набок, в виде «...МММММММ...», а молекула целлюлозы будет выглядеть как чередующаяся последовательность молекул, повернутых набок и перевернутых вверх ногами: «...МНМНМНМН...» Пищеварительные соки желудочно-кишечного тракта способны расщеплять последовательность «ММ», встречающуюся в крахмале, при этом освобождается глюкоза, которая поглощается клетками организма и служит им источником энергии. Но пищеварительные соки не могут расщепить связь «МН», присутствующую в целлюлозе, поэтому, сколько бы целлюлозы мы ни съели, она пройдет через пищеварительный тракт неизменной, не усвоенной организмом.

Ни одно из высших животных не способно усваивать целлюлозу. Но есть микроорганизмы, которые могут расщеплять ее. Некоторые из таких микроорганизмов живут в кишечнике жвачных животных и термитов. Благодаря этим маленьким помощникам коровы могут питаться травой, а термиты — древесиной. Микроорганизмы перерабатывают достаточно много целлюлозы, удовлетворяя свои потребности и помогая организму хозяина. Таким образом, микроорганизмы обеспечивают хозяина готовой к употреблению пищей, а хозяин предоставляет им сырье для переработки и предоставляет жилье. Такой вид кооперации, существующей между двумя формами жизни на взаимовыгодной основе, называется *симбиоз* (от греческих слов «жить вместе»).

Христофор Колумб, высадившись на берег Южной Америки, застал аборигенов за игрой с шариками из застывшего сока растений. Колумба и других мореплавателей, посещавших Южную Америку в течение двух веков после него, очень заинтересовали эти упругие шарики (их делали из живицы деревьев, растущих в Бразилии). В конце концов их привезли в Европу. Приблизительно в 1770 году Д. Пристли (чуть позже он открыл кислород) обнаружил, что комочком этого упругого вещества можно стереть надпись, сделанную карандашом; это вещество назвали *каучук*.

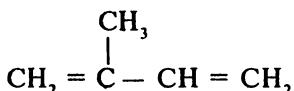
Каучук получил очень важное для людей применение. В 1823 году шотландец Ч. Макинтош запатентовал предназначенную для дождливой погоды верхнюю одежду, сделанную из прорезиненной ткани (между двумя слоями ткани был проложен тонкий слой каучука). До сих пор плащи иногда называют макинтошами.

Такая одежда хорошо предохраняла от воды, но у нее был большой недостаток: в тепле каучук становился тянущимся и липким, а в холодную погоду был жестким и твердым. Многие пытались устранить этот недостаток, одним из них был американец Ч. Гудьир. Не химик по профессии, он с завидным упор-

ством делал попытку за попыткой, ошибался и принимался за дело вновь. Однажды, это было в 1839 году, он случайно рассыпал смесь каучука и серы на горячей плите. Быстро, как только мог, он сбросил каучук с плиты и, к своему удивлению, обнаружил, что нагретый в присутствии серы каучук остался упругим. Он снова нагрел и охладил его и убедился, что такой каучук не размягчается при нагревании и не затвердевает при охлаждении, а остается упругим и эластичным.

Процесс добавления к каучуку серы сейчас называется *вулканизацией* (по имени римского бога огня Вулкана). Так случайное открытие Гудьера положило начало промышленному производству резины. К сожалению, Гудьер не пожал плодов своего труда и не получил ни цента за свое открытие, которое другим принесло миллионные доходы. Он провел оставшуюся жизнь в борьбе за получение патента и умер в глубокой нищете.

Молекулярная структура резины была получена в 1879 году, когда французский химик Г. Бушарда нагрел каучук без доступа воздуха и получил жидкость, которую называли *изопрен*. Молекула изопрена состоит из пяти атомов углерода и восьми атомов водорода, соединенных следующим образом:

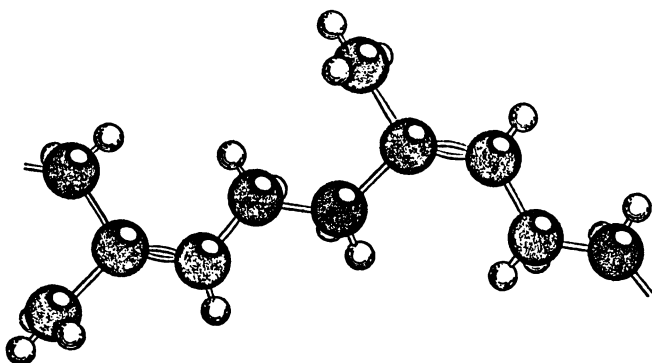


Из сока, который добывают из некоторых деревьев, произрастающих в Юго-Восточной Азии (его называют *латекс*), получают *гуттаперчу*. Гуттаперча не так эластична, как каучук, но при нагревании без доступа воздуха из нее также получается изопрен.

И каучук, и гуттаперча состоят из тысяч единиц изопрена. Как и в случае крахмала и целлюлозы, различие заключается в разных связях молекул изопрена в этих веществах. В каучуке они связаны в цепь по типу «...МММММ...», причем цепи закручиваются в спирали, которые могут растягиваться, и это их свойство определяет эластичность каучука. В гуттаперче молекулы изопрена связаны в цепь по типу «...МНМНМНМ...», которая образует очень слабую спираль, поэтому гуттаперча гораздо менее эластична, чем каучук.

Молекула простого сахара, такого, как глюкоза, называется *моносахарид* (что в переводе с греческого означает «один сахар»), сахарозу и лактозу называют дисахаридами («два сахара»), а крахмал и целлюлозу — полисахаридами («много сахаров»). Две молекулы изопрена при конденсации образуют вещество *терпен* (его название происходит от слова «turpentin», что означает «скипидар»), поэтому каучук и гуттаперчу называют *политерпенами*.

Большинство названий этих соединений ввел в обращение в 1830 году Берцелиус, великий мастер на придумывание имен и



Молекула гуттаперчи, часть которой представлена на рисунке, состоит из тысяч мономеров изопрена. Первые пять атомов углерода слева (черные шарики) и связанные с ними восемь атомов водорода (маленькие светлые шарики) образуют мономер изопрен

символов. Основную молекулярную единицу он назвал *мономер* (что означает «одна часть»), а большую молекулу — *полимер* («много частей»). Полимеры, молекулы которых состоят из многих единиц (например, больше 100), теперь называют *высокополимерными соединениями*. Крахмал, целлюлоза, каучук и гуттаперча — это примеры высокополимерных соединений.

Полимер не является веществом, у которого размер молекул строго определен, это смесь молекул различной длины. Поэтому на практике для оценки полимерной молекулы определяется ее *средний молекулярный вес*. Один из способов его определения — измерение *вязкости* (вязкость — это свойство жидкости сопротивляться действию внешней силы, вызывающей течение). Чем крупнее молекула, чем она длиннее, тем большее *внутреннее трение* жидкости она создает, тем больше струя такой жидкости будет походить на струю густой патоки, нежели на струю воды. Немецкий химик Г. Штаудингер, который занимался исследованием полимеров, в 1930 году разработал этот метод и в 1953 году за вклад в изучение гигантских молекул полимеров был удостоен Нобелевской премии в области химии.

В 1913 году японские химики обнаружили, что природные волокна, такие, как целлюлоза, преломляют рентгеновские лучи подобно кристаллам. В строгом понимании этого слова волокна не являются кристаллами, но в своей структуре они содержат так называемые *микрористаллы*. Дело в том, что длинные цепи полимеров могут образовывать связки, в которых молекулы мономеров ориентированы параллельно. Эти связки имеют различную длину и расположены хаотично. Вследствие параллельного расположения молекул в пучках порядок расположения атомов в них такой же, как и в кристалле, поэтому

рентгеновские лучи, проходя через такие упорядоченные области, преломляются.

Согласно этому свойству, полимеры можно поделить на две большие группы: кристаллические и аморфные.

В кристаллическом полимере (например, в целлюлозе) прочность каждой отдельной цепи возрастает вследствие того, что между параллельными соседними цепями возникают химические связи. Поэтому волокна целлюлозы обладают высоким пределом прочности на разрыв. Крахмал — тоже кристаллическое вещество, но в гораздо меньшей степени, чем целлюлоза. Поэтому его прочность ниже, чем у целлюлозы.

Каучук — аморфный полимер. В нем отдельные цепи не располагаются параллельно, и между ними нет химических связей. При нагревании различные цепи колеблются независимо друг от друга, поэтому каучук и подобные ему полимеры при нагревании размягчаются, тянутся и расплавляются. (Растягивание каучука вызывает распрямление полимерных цепей и выстраивание их в одном направлении, что увеличивает микрокристаллический характер структуры вещества. Поэтому растянутый каучук обладает значительным пределом прочности на разрыв.) Целлюлоза и крахмал не размягчаются при нагревании, потому что параллельные цепи молекул соединены химическими связями и не могут колебаться независимо друг от друга при повышении температуры. Они остаются твердыми, пока высокая температура не произведет разрушение цепей молекул, и тогда произойдет обугливание вещества и выделение дыма.

Аморфные полимеры при температурах ниже тех, которые вызывают их плавление, как правило, бывают мягкими и упругими. Однако, если температуру понизить еще больше, они становятся твердыми, жесткими и даже хрупкими. Каучук-сырец бывает мягким и эластичным только в довольно узком диапазоне температур. Добавление к нему 5—8 процентов серы (вулканизация) создает между полимерными цепями гибкие сульфидные связи, при нагревании цепи окажутся связанными, что предотвратит размягчение вещества и появление липкости при умеренно высоких температурах. Эти связи также увеличивают подвижность цепей при относительно низких температурах, что предотвращает резину от затвердевания. Если содержание серы в каучуке довести до 30—50 процентов, то сера свяжет цепи настолько плотно, что каучук затвердеет. Такой каучук называют *твердой резиной*, или *эбонитом*.

Но даже вулканизированный каучук становится хрупким при очень низких температурах. Если обычный каучуковый шарик опустить на несколько секунд в жидкий воздух, а затем ударить им в стену, он разобьется вдребезги.

Физические свойства различных аморфных полимеров при заданной температуре могут различаться. Например, при комнатной температуре натуральный каучук — эластичный, тогда как разные

смолы — твердые и хрупкие, а *чикле* (особый тип каучука, получаемый из некоторых видов деревьев, произрастающих в Южной Америке) — мягкий и липкий (его используют как основной компонент жевательной резинки).

Если не считать продукты питания, которые в основном состоят из высокополимерных веществ (мясо, крахмал и другие), самым необходимым для человека полимером является целлюлоза. Целлюлоза — основной компонент древесины, применяемой в качестве топлива и строительного материала. Из древесной целлюлозы делают также бумагу. В виде хлопка и льна целлюлоза является ценным сырьем для текстильной промышленности. Поэтому нет ничего удивительного в том, что химики-органики XIX века обратились к целлюлозе как материалу, на основе которого можно было бы создавать новые гигантские молекулы.

Одним из способов модификации целлюлозы является присоединение нитратной группы глюкозы к *гидроксильной группе* самой целлюлозы. Такую модификацию проводили, обрабатывая целлюлозу смесью азотной и серной кислот, при этом получалось взрывчатое вещество небывалой мощности. Это свойство целлюлозы в 1846 году случайно открыл швейцарский химик К. Шёнбейн, который в 1839 году открыл озон. Как повествует история, он пролил на стол смесь азотной и серной кислот на кухне (где ему было запрещено проводить эксперименты, но он их проводил, когда жены не было дома), схватил попавшийся под руку хлопчатобумажный фартук жены и вытер стол. Когда он повесил фартук над огнем, чтобы тот просох, раздался взрыв.

Шёнбейн сразу понял, что он получил. Название, которое он дал новому веществу, дословно с немецкого переводится как «стреляющий хлопок». Теперь это вещество химики называют *нитроцеллюлозой*. Шёнбейн продал рецепт производства нового взрывчатого вещества сразу нескольким правительствам. В то время обычно использовался черный порох, который давал так много дыма, что артиллеристы после военных действий больше ходили на трубочистов. Сажа от пороха так пачкала орудия, что в перерыве между выстрелами их приходилось чистить, а уже после первых залпов поднималась такая завеса дыма, что сражаться приходилось чуть ли не вслепую. Военные с радостью ухватились за возможность получить в свое распоряжение более сильное взрывчатое вещество, к тому же дающее меньше дыма. Начали возникать заводы по производству нитроцеллюлозы. Но почти все заводы как возникли, так и исчезли: они взорвались. Нитроцеллюлоза была слишком нетерпелива, чтобы дожидаться сражений. Поэтому в начале 60-х годов XIX века шумиха, поднятая вокруг нитроцеллюлозы, улеглась как в прямом, так и в переносном смысле.

Позднее, однако, придумали способ очистки нитроцеллюлозы от небольших количеств примесей, которые вызывали самопроизвольные взрывы, и нитроцеллюлоза стала безопасной в применении. Английский химик Дьюар (впервые получивший сжиженный газ) и Ф. Абель в 1889 году совместно разработали метод, позволяющий смешиванием нитроцеллюлозы с нитроглицерином и последующим добавлением вазелина получить смесь, которую они назвали *кордит*. Так, наконец, был изобретен бездымный порох. Сражения испано-американской войны 1898 года стали последними, в которых использовали черный порох.

(Машинный век внес свою лепту в развитие оружейного дела. В 60-х годах XIX века американский изобретатель Р. Гатлинг сконструировал первое автоматическое оружие, предназначенное для быстрой стрельбы пулями. Это был револьвер. Немного позже, в 80-годах, изобретатель Х. Максим усовершенствовал это орудие. По фамилиям изобретателей получили разговорное название оба вида оружия: американцы называют револьвер «gat», а автоматическое оружие Максима — станковый пулемет — и в нашей стране известно под названием «максим».)

Прогресс (если в данном контексте это слово применимо) в области получения взрывчатых веществ продолжился и в XX веке. Наиболее часто в Первой мировой войне использовали *тринитротолуол*, или, как его сокращенно в обиходе называли, ТНТ, во Вторую мировую войну на вооружение поступило более мощное взрывчатое вещество *циклонит*. В обоих этих веществах содержалось больше *нитрогрупп* NO_2 , чем нитратных групп ONO_2 . Но в 1945 году химическим взрывчатым веществам пришлось уступить трон короля войны атомной бомбе (см. главу 9).

Кстати, нитроглицерин был открыт в том же году, что и нитроцеллюлоза. Итальянский химик А. Собrero понял, что совершил открытие, когда чуть не погиб от взрыва. Собrero, в отличие от Шёнбейна, понял, что нитроглицерин может принести немало бед, поэтому он не разглашал сведения о своем открытии. Но 10 лет спустя шведская семья Нобель приступила к производству нитроглицерина, который они называли «взрывчатое масло» — оно предназначалось для строительных работ и разработок месторождений полезных ископаемых. После нескольких несчастных случаев, в одном из которых погиб брат А. Нобеля, он разработал метод, позволяющий смешивать нитроглицерин с абсорбентом (впитывающим веществом), называемым *кизельгур*, или *диатомит* (состоит из панцирей одноклеточных диатомовых водорослей). Смесь состояла из трех частей нитроглицерина и одной части кизельгура. Поглощающая способность кизельгура столь высока, что при таком соотношении смесь представляла собой сухой порошок. Брусочек пропитанного нитроглицерином кизельгура (*динамит*) можно было бросать, бить по нему молотком, даже поджигать — он не взрывался. Разрушающая сила

динамита вырывалась наружу, когда его взрывали с помощью взрывного устройства — ударного капсюля, приводимого в действие на расстоянии (с помощью электрического привода).

В ударном капсюле содержится взрывчатое вещество, очень чувствительное к нагреванию или механическому удару. При воздействии этих факторов вещество детонирует (взрывается), поэтому его и называют *детонатором*. Сильный удар от детонации взрывает менее чувствительный динамит. Может возникнуть вопрос: почему такое устройство более безопасно, если для его срабатывания необходимо второе взрывчатое вещество, не менее опасное, чем нитроглицерин? Дело в том, что детонатор необходим в очень малых количествах. Обычно в качестве детонатора используют гремучую ртуть ($\text{HgC}_2\text{N}_2\text{O}_2$) и азид свинца (PbN_6).

Благодаря динамитным шашкам в неимоверно короткий срок американский Запад исчертили сети шоссе и железных дорог, появились шахты и рудники, реки перекрыли плотины. Динамит и другие взрывчатые вещества, производимые Нобелем, принесли ему колоссальные доходы и сделали миллионера одиноким и непопулярным: к нему относились как к торговцу смертью. После своей кончины, которая последовала в 1896 году, он оставил фонд, из которого ежегодно должны были выплачивать нобелевские премии, в размере более 40 000 долларов каждая, за выдающиеся достижения в пяти областях: химия, физика, медицина и физиология, литература и борьба за мир. Первые премии были присуждены 10 декабря 1901 года, в пятую годовщину смерти Нобеля. Сегодня Нобелевская премия является самой почетной наградой, какую только может получить ученый. (К сожалению, в списке Нобеля не значилась категория «астрономия и науки о Земле». Иначе заслуженную награду за проделанную работу могли бы получить такие ученые, как Шопли, Хаббл и многие другие.)

Учитывая природу человеческого общества, взрывчатые вещества продолжали оставаться объектом внимания многих маститых ученых. Поскольку все подобные вещества содержат азот, химия этого элемента и его соединений приобрела ключевое значение. (В живых организмах соединения азота также имеют важное значение.)

Немецкий химик В. Оствальд, которого больше интересовали теоретические аспекты химии, чем взрывчатые вещества, изучал скорости, с которыми протекают химические реакции. Он обратился к математическим принципам физики и химии, став одним из основателей *физической химии*. В конце XIX века он изобрел новые способы превращения аммония в окислы азота, которые можно было использовать при производстве взрывчатых веществ. За разработку теории каталитических реакций в 1909 году Оствальд получил Нобелевскую премию в области химии.

Основными источниками азота, пригодными для переработки, в первом десятилетии XX века служили залежи нитратов в

пустыне на севере Чили. Во время Первой мировой войны благодаря Британскому военно-морскому флоту доступ к ним для Германии был закрыт. Однако немецкому химику Ф. Хаберу удалось разработать метод, позволяющий соединить в условиях высокого давления азот воздуха с водородом и получить аммиак, необходимый для получения окислов азота по Оствальду. Технологию Хабера усовершенствовал немецкий химик К. Бош, который во время Первой мировой войны курировал строительство завода по производству аммиака. Хабер получил Нобелевскую премию в 1913 году, а Бош стал ее лауреатом в 1931 году. К концу 60-х годов XX века только Соединенные Штаты производили по технологии Хабера 12 миллионов тонн аммиака ежегодно.

Но вернемся к модифицированной целлюлозе. Присоединение к ней нитратных групп дает взрывчатое вещество. А что, если не все гидроксильные группы соединять с нитратными группами? Оказалось, что такая модифицированная целлюлоза вообще не взрывается, но легко воспламеняется. Это вещество называли *пироксилин* (от греческого слова, означающего «огненная древесина»).

Пироксилин можно растворить в смеси спирта и эфира. (Это его свойство открыли независимо два студента: француз Л. Менар и изучавший медицину американец Дж. Мейнард — обратите внимание на удивительную схожесть фамилий.) После выпаривания эфирно-спиртового раствора пироксилин оставался в виде тонкой прозрачной пленки, которой дали название *коллодий*. Вначале его использовали для покрытия мелких порезов, ссадин, поэтому даже называли *новой кожей*. Однако история пироксилина только начиналась, главное в ней было впереди.

Сам пироксилин — вещество хрупкое. Но английский химик А. Паркес обнаружил, что если его растворить в смеси спирта с эфиром, потом смешать с веществом типа камфары, затем выпарить растворитель, то останется твердая масса, которая при нагревании размягчается и становится тягучей. В нагретом виде ей можно придавать любую желаемую форму, которая сохраняется после охлаждения и затвердевания. Так из нитроцеллюлозы получилась первая искусственная *пластмасса*, а произошло это в 1865 году. Камфара, которую вводили в вещество для придания пластичности, стала первым *пластификатором*.

Внимание общества к пластмассам появилось после их появления в бильярдных. В то время бильярдные шары делали из слоновой кости, и это вызывало многие проблемы. В начале 60-х годов XIX века была даже назначена премия в 10 000 долларов тому, кто предложит заменитель слоновой кости, удовлетворяющий всем требованиям к бильярдным шарам: быть твердым, эластичным, устойчивым к ударам и влаге, гладким и т. д. Американский изобретатель Д. Хайетт был одним из тех, кто боролся за получение этой награды. У него долго ничего не получалось,

пока он не узнал о способе Паркенса, с помощью которого можно получить прочное вещество, поддающееся формовке. Хайетт занялся разработкой нового метода получения подобного материала, в котором использовались бы температура и давление, а не дорогие спирт и эфир. В 1869 году Хайетт получил такой материал и изготовил из него первый дешевый бильярдный шар. Материал был назван *целлулоид*, а изобретатель получил премию.

Интерес к целлулоиду значительно увеличился, потому что его можно было использовать для различных целей. Он действительно обладал удивительными свойствами. Его можно было формовать при температуре кипящей воды, резать, сверлить, пилить при низкой температуре; крупные предметы из целлулоида были твердыми и прочными, а тонкая целлулоидная пленка легко гнулась, из нее делали воротнички для рубашек и детские погремушки. Еще более тонкие пленки можно было использовать как основу для фотопленки.

Единственным недостатком целлулоида было то, что из-за наличия в нем нитратных групп он с пугающей легкостью воспламенялся, что особенно касалось целлулоидной пленки. Это его свойство явилось причиной многих пожаров и трагедий.

Замена нитратных групп на ацетатные ($\text{CH}_3\text{COO}-$) привела к получению нового вида модифицированной целлюлозы — *ацетата целлюлозы*. Новый материал обладал почти всеми положительными качествами целлулоида, но был гораздо устойчивее к возгоранию. Ацетат целлюлозы появился перед началом Первой мировой войны, а после ее окончания полностью заменил целлулоид в производстве фотопленки и многих других товаров.

За полвека, прошедшие со времени появления целлулоида, химики постепенно перестали рассматривать целлюлозу как единственную основу для производства пластмасс. Еще в 1872 году Байер (который позже синтезировал индиго) обратил внимание на то, что при совместном нагревании фенолов и альдегидов получается липкая смолянистая масса. Поскольку Байера интересовали только молекулы небольшого размера, он не обратил внимания на образовавшуюся на дне колбы массу (обычно химики XIX века интересовались всем, что получалось в их колбах и пробирках). Тридцать семь лет спустя американский химик Л. Бакленд, экспериментируя с формальдегидом, обнаружил, что при некоторых условиях в ходе реакции образуется смола, которая при последующем нагревании под давлением начинает постепенно затвердевать, превращаясь в твердую, нерастворимую массу. Из этой смолы, пока она была еще мягкой, можно было формовать самые разнообразные изделия, они хорошо сохраняли форму. Порошок из этого вещества можно было засыпать в форму и, повысив температуру, спрессовать его под

давлением. Благодаря такой обработке можно было легко и быстро изготовить изделия самой разнообразной формы. Более того, изделия из этого материала были устойчивы к различным повреждающим факторам.

В честь своего имени Бакленд назвал полученный им материал *бакелитом*. Бакелит принадлежит к классу так называемых *термореактивных пластмасс*, то есть пластиков, которые необратимо затвердевают при нагревании и которые после охлаждения уже не размягчаются при повторном нагревании (безусловно, при очень высоких температурах бакелит сгорает). Изготовленные на основе целлюлозы пластмассы, которые неоднократно размягчаются при нагревании, называют *термопластикеми*. Бакелит нашел широкое применение как изолирующий, связывающий, ламинирующий материал и т. д. Он и сегодня наиболее широко используется, несмотря на то что является самым первым из термореактивных пластиков.

Бакелит является также и первым высокополимерным веществом, полученным в лаборатории из маленьких молекул. Впервые химикам удалось полностью разрешить эту нелегкую задачу. Конечно, эта задача не сравнима по сложности с синтезом гема или хинина — молекул, при создании которых химики должны были все атомы буквально по одному расставить по местам. При синтезе полимеров главное — найти основную «единицу», из которой будет построена молекула, и порядок построения цепей из этих «единиц». Как только эти условия будут выполнены, полимер будет синтезироваться почти автоматически, химику не нужно будет заниматься присоединением каждого атома. При этом химик, конечно, может управлять реакцией: он может изменить тип полимера, поменяв исходные материалы или их пропорции, добавив в реакционную смесь кислоту, щелочь или какое-либо другое вещество, действующее как катализатор.

С появлением бакелита ученые начали интенсивные поиски других исходных материалов для синтеза высокополимерных веществ, пригодных для изготовления пластмасс, и неоднократно добивались успеха на этом поприще.

В 1930-х годах британские химики установили, что молекулы газа этилена ($\text{CH}_2 = \text{CH}_2$) при нагревании под давлением могут соединяться между собой и образовывать длинные цепи: в этих условиях одна из двойных связей раскрывается, что позволяет соединяться соседним молекулам. В результате образуется длинная молекула вещества, которое называли *полиэтилен*.

Молекула твердого парафина также представляет собой длинную цепь, составленную из мономеров этилена, но молекула полиэтилена длиннее. Поэтому полиэтилен похож на парафин: такой же белесый, водонепроницаемый и легкий, так же не проводит электрический ток (полиэтилен — один из немногих пластиков, которые не тонут в воде). Но полиэтилен вместе с

тем отличается от парафина тем, что он гораздо прочнее и эластичнее.

Производство полиэтилена поначалу было несовершенным, так как требовало очень высокого давления, к тому же температура плавления полиэтилена была весьма низкой — чуть выше температуры кипения воды. Поэтому молекулы полиэтилена получались разветвленными и не могли образовать кристаллическую структуру. В 1953 году немецкий химик К. Циглер разработал способ получения неразветвленных цепей полиэтилена, к тому же его технология не требовала высокого давления. В результате появился новый тип полиэтилена, более прочного, более твердого по сравнению с предыдущим, выдерживающего температуру кипящей воды. Отличие технологии Циглера заключалось в использовании нового катализатора — смолы, содержащей ионы алюминия или титана, которые взаимодействовали с отрицательно заряженными группами цепи молекул.

Узнав об использовании Циглером металлоорганических катализаторов для синтеза полимеров, итальянский химик Д. Натта применил его технологию для синтеза полимера (это этилен, к одному из углеродов которого присоединена метильная группа, CH_3). За десять недель Натта получил новый полимер, у которого, как он обнаружил, все метильные группы полимерной цепи ориентированы в одном направлении, а не в разных, как обычно было у подобных полимеров, синтезированных до него. Такие *изотактические* (термин придумал сам автор) полимеры обладали многими полезными качествами, и теперь их можно было производить достаточно много. Химики научились конструировать полимеры с гораздо большей точностью, чем прежде. За успехи, достигнутые в сфере получения полимеров, Циглер и Натта в 1963 году поделили Нобелевскую премию в области химии.

Работы над созданием атомной бомбы требовали других высокополимерных веществ, отличных от полиэтилена. При получении урана-235 из природного урана ученые-атомщики должны были соединить уран со фтором и получить газообразный шестифтористый уран. Из всех веществ фтор — самый реактивный, он соединяется почти со всем. В поисках защитного покрытия сосудов, которое не вступало бы во взаимодействие со фтором, физики наткнулись на *фторуглероды* — вещества, в которых углерод уже был соединен с фтором (заместившим водород).

До этого к фторуглеродам относились как к лабораторной диковинке. Первым стал известен самый простой представитель этой группы веществ — четырехфтористый углерод (CF_4), который получили в чистом виде только в 1926 году. Химия этих интересных соединений стала интенсивно развиваться. Среди изученных соединений был и *тетрафторэтилен* ($\text{CF}_2 = \text{CF}_2$), который впервые синтезировали в 1933 году. Тетрафторэтилен — это этилен, у которого четыре атома водорода замещены на четыре атома фтора. Было об-

наружено, что тетрафторэтилен способен полимеризоваться. После войны химики, работавшие на заводах Дюпона, синтезировали длинную полимерную цепь $\text{CF}_2\text{CF}_2\text{CF}_2\ldots$, аналогичную цепи полиэтилена $\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\ldots$. Новый полимер назвали *тефлон* («теф» — это аббревиатура «тетрафтор»).

Тефлон похож на полиэтилен, но у него и много новых качеств. Связь между атомами фтора и углерода прочнее связи между водородом и углеродом, поэтому тефлон гораздо устойчивее к внешним воздействиям. Тефлон ни в чем не растворяется, ничем не смачивается, обладает удивительными электроизоляционными свойствами и более устойчив к нагреванию, чем даже улучшенный полиэтилен. Наиболее известное применение тефлона в быту — использование его в качестве антипригарного покрытия. На сковородах, покрытых тефлоном, можно жарить без использования жира, пища не прилипает к дну. Это качество фторуглеродного полимера высоко ценят домохозяйки.

Есть другое интересное соединение, содержащее фтор, — фреон (CF_2Cl_2), который стали использовать в 1932 году в качестве хладагента. Это более дорогое вещество по сравнению с аммиаком или сернистым ангидридом, которые используют в морозильниках, зато фреон не имеет запаха, не токсичен, не воспламеняется, поэтому его утечки не влекут серьезных последствий. Начиная с 40-х годов XX века характерной чертой американского быта благодаря фреону стали кондиционеры воздуха.

Свойствами пластика обладают не только органические соединения. Одним из наиболее старых пластиков является стекло. Длинные молекулы стекла состоят из чередующихся атомов кремния и кислорода: — Si — O — Si — O — Si — O — Si — и т. д. Поскольку атом кремния, как и атом углерода, имеет четыре валентные связи, у каждого атома кремния в такой молекуле существуют свободные связи, к которым можно присоединить другие группы атомов. Но связь между двумя атомами углерода сильнее, чем связь между двумя атомами кремния. Поэтому атомы кремния могут образовывать только короткие нестабильные цепочки (соединения, содержащие кремниевые цепочки, называются *силаны*). Связь между атомами кремния и кислорода прочная, и кремнево-кислородные цепочки получаются даже более прочными, чем углеродные. Так как земная кора состоит наполовину из кислорода и на четверть из кремния, твердую почву, на которой вы стоите, можно рассматривать как кремнево-кислородную цепочку.

Несмотря на красоту и полезность стекла, у него есть большой недостаток — оно хрупкое. Когда стекло разбивается, образуются острые осколки, которые могут принести немало вреда, а иногда даже стать причиной трагических случаев. Необработанное должным образом лобовое стекло автомобиля может стать осколочным снарядом.

Однако можно сделать стекло безопасным. Для этого достаточно между двумя слоями стекла в качестве связующего элемента вклеить тонкий слой прозрачного полимера. Такое стекло, даже если разобьется вдребезги, не разлетится на осколки — все они останутся прочно прикрепленными к пленке и не причинят вреда. Сначала при изготовлении безопасных стекол в качестве связующей пленки использовали коллодий, в современных технологиях используют полимеры, изготовленные на основе небольших молекул, таких, как хлористый винил. (Хлористый винил похож на этилен, отличие заключается в том, что у этого соединения один атом водорода заменен на атом хлора.) Виниловая смола не меняет цвета под воздействием света, поэтому такие стекла со временем не желтеют.

Появились прозрачные пластмассы, которые в некоторых случаях могут заменить стекло. В середине 30-х годов XX века Дюпон создал полимер из небольших молекул *метилметакрилата*. Из полученного *полиакрилового пластика* можно было отливать прозрачные листы. Эта пластмасса известна в мире под торговыми названиями *плексиглас* и *люцит*. Такое органическое стекло легче обычного, легче поддается формовке, менее хрупкое, при ударе не разлетается на осколки, а просто ломается. Во время Второй мировой войны этот прозрачный пластик нашел широкое применение в самолетостроении, где легкость и прочность материала были очень важны. Его использовали для застекления иллюминаторов и фюзеляжей. К сожалению, у полиакриловых пластиков имелись свои недостатки. По сравнению с обычным стеклом они были неустойчивы к действию органических растворителей, размягчались при нагревании, их было легче поцарапать. Окна из полиакрилового пластика в автомобилях под воздействием частиц дорожной пыли быстро становятся мутными, что повышает риск при вождении. Поэтому нельзя сказать, что полиакриловые пластики заменили обычное стекло. Более того, стекло находило новое применение. Стекланные волокна начали вплетать в текстиль, они оказались такими же гибкими, как органические волокна, более того, они делали текстиль огнеупорным.

Еще несколько замечаний о заменителях стекла. У каждого атома кремния в кремниево-кислородной цепочке есть две свободные связи, посредством которых кремний может связаться еще с двумя другими атомами. В стекле этими атомами являются атомы кислорода. Если кислород заменить на группы атомов, содержащие углерод? Тогда получится неорганическая цепочка, у которой будут органические ответвления, другими словами, компромисс между органическим и неорганическим материалами. Еще в 1908 году английский химик Ф. Киппинг получил такие вещества, и теперь они известны под названием *силиконы*.

Широкое применение *силиконовые смолы* нашли во время Второй мировой войны. По сравнению с чисто органическими по-

лимерами силиконы гораздо более устойчивы к нагреванию. Варьируя длину полимерной цепи и боковые заместители, можно задавать материалу целый ряд полезных свойств, которыми не обладало стекло. Например, некоторые силиконы являются жидкостями при комнатной температуре. Вязкость таких силиконов в достаточно широком диапазоне температур меняется незначительно: при нагревании они не разжижаются, а при охлаждении — не уплотняются. Это важное свойство гидравлической жидкости — особой жидкости, используемой, например, в самолетах при выпуске шасси. Другие силиконы — мягкие, мастикоподобные. Они используются как герметики, которые не твердеют, не трескаются при низких температурах и отталкивают воду. Третьи применяются в качестве кислотоустойчивых смазок и т. д.

К концу 60-х годов XX века производилось около 7 миллионов тонн различных пластмасс, что породило новую проблему: утилизацию отработанных пластмасс. Это поставило перед учеными новую задачу: синтез полимерных материалов, подвергающихся естественной утилизации. В 1962 году было объявлено о потенциальной возможности создания полимера с принципиально новыми качествами. Советский физик Б. Дерягин сообщил, что вода в капиллярах должна приобрести свойства полимера. Химики скептически отнеслись к этому сообщению, но исследования, проведенные в Соединенных Штатах, подтвердили правильность предположения Дерягина: в суженном и протяженном пространстве молекулы воды выстраиваются в упорядоченные цепочки, в которых атомы располагаются ближе, чем в обычных условиях. Структура такой воды имеет сходство с полимером, составленным из молекул H_2O , его можно назвать *поливодой*.

Плотность поливоды в 1,4 раза превышала плотность обычной воды; чтобы она закипела, ее нужно было нагреть до $500\text{ }^{\circ}\text{C}$; замерзала она при температуре $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$. К такой воде большой интерес проявили биологи, поскольку живые клетки изобилуют ограниченными пространствами, и существование в клетке ранее неизвестной формы воды могло стать ключом к пониманию некоторых процессов жизнедеятельности.

Однако вскоре появились сведения о том, что поливода является обычной водой, содержащей примеси силиката натрия, который вымывается из стекла, или другие примеси. Ко времени написания книги вопрос о существовании полимера воды окончательно не был решен.

Волокна

Если проследить историю органического синтеза, то наиболее интересной в ней является та часть, которая касается синтетических волокон. В качестве исходного материала для создания

первых искусственных волокон пользовались тем же материалом, из которого были получены первые пластмассы, — целлюлозой. По совершенно понятной причине химики начали с нитроцеллюлозы: они умели ее получать в достаточно больших количествах. В 1884 году французский химик Г. де Шардонэ растворил нитроцеллюлозу в смеси спирта с эфиром и пропустил густой раствор через решетку с маленькими отверстиями. По мере прохождения раствора через отверстия эфирно-спиртовой растворитель выпаривался и оставалась нитроцеллюлоза в виде тонких нитей коллодия. (Точно так же плетут свои нити пауки и тутовые шелкопряды. Они выпускают жидкость через крошечные отверстия выходных протоков, и жидкость, быстро затвердевая на воздухе, превращается в нить.) Нити из нитроцеллюлозы легко воспламенялись, поэтому их нельзя было использовать. Используя химическую обработку, нитратные группы удалили, и в результате были получены блестящие целлюлозные нити, по виду напоминающие шелковые.

Разработанная де Шардоне технология производства искусственного волокна оказалась трудоемкой, дорогой и небезопасной. В 1892 году был разработан метод, позволяющий растворить саму целлюлозу. Английский химик Ч. Кросс растворил целлюлозу в дисульфиде углерода и из полученного вязкого раствора сделал нити. Это волокно получило название *вискоза* (от слова «вязкий»). Недостатком разработки Кросса было то, что дисульфид углерода — вещество легковоспламеняемое, токсичное, к тому же злобонное. В 1903 году получила распространение другая технология, в которой в качестве части растворителя использовалась уксусная кислота, и таким образом были получены волокна *ацетатцеллюлозы*.

Сначала эти искусственные волокна называли *искусственный шелк*, а затем — *вискозный шелк* и *ацетатный шелк*.

Если продавить вискозу через узкую щель, то получится тонкая, гибкая, водонепроницаемая прозрачная пленка — *целлофан*. Технологию его изготовления предложил в 1908 году французский химик Ж. Бранденбергер. По этой технологии можно изготавливать пленки и из других синтетических полимеров. Например, из винилового смолы при продавливании ее через узкую щель получается пленка, которая является отличным упаковочным материалом. Такая пленка получила название *саран*.

Поскольку целлюлоза является природным материалом, искусственные волокна, полученные на ее основе, нельзя считать в полной мере синтетическими. Первое полностью синтетическое волокно было получено в 1930 году.

Здесь нужно сказать несколько слов о шелке. Шелк — это продукт животного происхождения, вырабатываемый некоторыми видами гусениц и необходимый им для питания и защиты. Люди получают шелковое волокно, раскручивая кокон, поэтому

шелк — дорогой материал, и его производство ограничено. Впервые шелк начали производить в Китае более 2000 лет назад. Китайцы тщательно оберегали секрет его производства, что позволяло им долгое время держать выгодную монополию на экспорт этого товара. Однако, несмотря на все предосторожности, тайна не может оставаться вечной, и производство шелка постепенно распространилось в Корею, Японию и Индию. В Древний Рим шелк доставлялся длинным путем по суше через Азию, на каждом этапе пути за товар приходилось платить пошлины, поэтому цена шелка была очень высокой и купить его могли только самые богатые граждане империи. В 550 году нашей эры яйца тутового шелкопряда контрабандой завезли в Константинополь, после чего шелк начали производить в Европе. Однако этот материал всегда относился к предметам роскоши. Более того, с появлением искусственного шелка его ценность не уменьшилась. Искусственный шелк был таким же блестящим, но не обладал легкостью и прочностью натурального.

После Первой мировой войны, когда шелковые чулки стали обязательной частью женского гардероба, потребность в этом материале или его достойном заменителе значительно возросла. Это особенно проявилось в Соединенных Штатах, которые потребляли шелк в больших количествах и у которых отношения с основным поставщиком шелка, Японией, постепенно ухудшались. Химики прилагали все старания, чтобы изготовить что-нибудь похожее на это уникальное волокно.

Шелк — это белок. Его молекула состоит из мономеров, называемых *аминокислотами*. Каждая аминокислота содержит *аминогруппу* ($-\text{NH}_2$) и *карбоксильную группу* ($-\text{COOH}$). Эти две группы соединяет атом углерода. Обозначим аминогруппу буквой *A*, а карбоксильную группу буквой *K*, а соединяющий их углерод — буквой *У*. Аминокислоты в молекуле конденсируются таким образом, что аминогруппа одной кислоты соединяется с карбоксильной группой другой. В результате получается длинноцепочечная молекула шелка, структуру которой можно изобразить так: ...-АУК-АУК-АУК...

В 30-х годах XX века работавший на предприятии Дюпона химик У. Кародерс занимался исследованием молекул, содержащих аминогруппы и карбоксильные группы. Он хотел построить их так, чтобы получить большие молекулы с кольцевой структурой (такие молекулы широко применяют в парфюмерии). Однако вместо кольца он получил длинноцепочечную молекулу. Для Кародерса это не стало неожиданностью, он знал, что такое может случиться. Продолжив исследования, Кародерс получил волокно из адипиновой кислоты и гексаметилендиамина. Молекула адипиновой кислоты содержит две карбоксильные группы, между которыми находятся четыре атома углерода, ее можно изобразить следующим образом: КУУУУК. Молекула гексамети-

ленидиамина содержит две аминокруппы, разделенные шестью атомами углерода, поэтому она может быть изображена так: АУУУУУА. При смешивании двух веществ их молекулы образуют полимер: ...-КУУУУК-АУУУУУА-КУУУУК-АУУУУУА-КУУУУК-... Вспомните, что участки К-А присутствуют также и в шелке.

Первое волокно, изготовленное таким образом, получилось неудачным: оно было слишком непрочным. Скорее всего, полимерные молекулы были недостаточно длинными. Кародерс решил, что причиной этого является вода, которая образуется в процессе конденсации. Вода, по мнению химика, «запускала» встречный процесс гидролиза, и поэтому полимеризация была недостаточно глубокой. Кародерс нашел выход: чтобы вода испарялась, он стал проводить поликонденсацию при пониженном давлении (пар конденсировался на охлаждаемой стеклянной поверхности, установленной наклонно над реакционной смесью, и, стекая, удалялся из реакционной смеси). Теперь полимеризации ничто не мешало, и были получены длинные и прочные молекулы. Таким образом, в 1935 году Кародерс получил исходный материал для создания желанного волокна.

Полимер, полученный из адипиновой кислоты и гексаметилендиамина, расплавляли и пропускали через тонкие отверстия; полученные волокна растягивали для того, чтобы молекулы укладывались в упорядоченные пучки. В результате получалась блестящая, похожая на шелковую нить, из которой можно было ткать полотно, такое же легкое и красивое, как шелк, только более прочное. Это первое полностью синтетическое волокно получило название *нейлон*. К сожалению, Кародерс не дождался появления на свет своего детища, он умер в 1937 году.

В 1938 году Дюпон заявил о создании нового синтетического волокна, а в 1939 году приступил к его широкому производству. Во время Второй мировой войны весь производимый в США нейлон шел на удовлетворение нужд американских вооруженных сил. Его использовали для самых разных целей: в частности, из нейлона шили парашюты. После войны нейлон полностью заменил шелк в производстве трикотажных изделий, в первую очередь дамских чулок.

Появление нейлона открыло широкие перспективы для создания других синтетических волокон. В результате полимеризации молекул *акрилонитрила* ($\text{CH}_2 = \text{CHCN}$) получились длинные цепочечные молекулы, похожие на молекулы полиэтилена. В отличие от него в новом полимере к каждому второму атому углерода была присоединена цианидная группа (но он совершенно не токсичен). Этому синтетическому волокну дали название *орлон*¹. Полимеризацию акрилонитрила провели также с участием хлорвинила ($\text{CH}_2 = \text{CHCl}$) и получили полимерные цепи, содер-

¹ О р л о н — заменитель шерсти. (Примеч. пер.)

жащие как цианогруппы, так и атомы хлора. Такое волокно называли *динель*. При введении в полимер ацетатных групп с использованием винилацетата ($\text{CH}_2 = \text{CHOOCCN}_2$) получили *акрилан*².

Англичане в 1941 году изготовили *полиэфирное* волокно, в котором карбоксильная группа одного мономера конденсировалась с гидроксильной группой другого. В результате получалась длинная цепь, состоящая из атомов углерода, между которыми периодически были вставлены атомы кислорода. Англичане называли это волокно *терилен*, в Соединенных Штатах оно появилось под названием *дакрон*.

Синтетические волокна имеют лучшие водоотталкивающие свойства по сравнению с натуральными, поэтому они устойчивы к сырости и не так быстро пачкаются. Им не страшны моль и жуки, некоторые даже не мнутся, поэтому изделия из них не требуют глажения после стирки.

Каучук

Сегодня кажется удивительным тот факт, что человек пользуется резиновыми шинами всего немногим более 100 лет. До этого на протяжении тысяч лет у колес были деревянные или металлические ободья. После того как благодаря Гудеару люди научились вулканизировать каучук, многим пришла в голову идея покрывать резиной металлический обод колеса. Английский инженер Роберт Вильям Томсон пошел еще дальше: в 1845 году он запатентовал способ, согласно которому на колесо надевали надувную резиновую трубку. К 1890 году колеса всех велосипедов были «обуты» в резиновые шины, а в 1895 году уже производились и автомобильные шины.

Как ни удивительно, но мягкая и относительно непрочная резина оказалась гораздо более устойчивой к изнашиванию, чем дерево или металл. Долговечность резины и амортизирующие свойства воздушной подушки сделали автомобиль куда более комфортабельным средством передвижения.

По мере все большего внедрения автомобилей в жизнь человека спрос на шины возрастал в астрономических масштабах. За полвека производство резины в мире возросло в 42 раза. Вы можете представить, сколько сегодня производится резины, если узнаете, что только в Соединенных Штатах ежегодно выбрасывается не менее 200 000 тонн изношенных покрышек, и это несмотря на то, что изнашиваемость покрышек у индивидуальных автомобилей относительно небольшая.

Взросший спрос на резину послужил одной из предпосылок возникновения военных конфликтов между различными страна-

² А к р и л а н — штапельное волокно. (Примеч. пер.)

ми. По мере развития моторизации армия и армейское обеспечение начали передвигаться на резине, а необходимый для ее производства каучук можно было получить только на Малайском полуострове, расположенном далеко от государств, наиболее склонных к развязыванию «цивилизованных» военных действий. (Малайский полуостров не является родиной каучукового дерева. Его завезли туда из Бразилии, где природные запасы каучука постепенно истощались. Дерево прекрасно прижилось на полуострове.) Поступление каучука в Соединенные Штаты прекратилось вместе со вступлением Америки во Вторую мировую войну. Малайскими запасами каучука тогда владела Япония. О важности резины для американцев в те годы свидетельствует тот факт, что в списке нормированных предметов амуниции на случай чрезвычайных обстоятельств (еще до нападения на Пёрл-Харбор) под первым номером стояли резиновые шины.

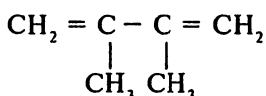
В Первую мировую войну, когда моторизация только начиналась, доступ Германии к источникам каучука был отрезан объединенными военно-морскими силами союзников. Поэтому уже в то время предпринимались попытки разработать технологию производства синтетического каучука. Исходным природным материалом для получения синтетического каучука стал изопрен, из молекул которого построена полимерная молекула природного каучука. Еще в 1880 году химики обратили внимание на то, что при длительном хранении изопрен становится клейким, похожим на смолу, а после обработки кислотой превращается в материал, похожий на каучук. Неудивительно, что шины для служебного автомобиля кайзера Вильгельма II были сделаны именно из этого материала, и это стало рекламой виртуозности мастерства немецких химиков.

Однако прежде, чем использовать изопрен в качестве исходного материала для синтеза каучука, следовало решить две проблемы. Во-первых, источником получения изопрена был сам каучук. Во-вторых, при полимеризации молекулы изопрена соединялись случайным образом. В полимерной цепи каучука все изопреновые блоки ориентированы одинаково: —ММММММ—, а в гуттаперче (аналогичном продукте растительного происхождения, но не обладающем эластичностью каучука) наблюдается их строгое чередование: —МНМНМНМН—. При полимеризации изопрена в обычных лабораторных условиях М- и Н-блоки в цепи получались беспорядочно перемешанными. Недостаточная гибкость и упругость получившейся в результате резины не позволяли использовать ее для широкого производства автомобильных шин (я не имею в виду автомобиль кайзера, который использовался только в случаях, имевших государственное значение).

Со временем были найдены твердые катализаторы, подобные тем, которые Циглер в 1953 году предложил для производства полиэтилена. При полимеризации изопрена в присутствии этих

катализаторов получался материал, почти полностью похожий на натуральный каучук, но по химической структуре и свойствам отличающийся от него, в итоге появилось много видов синтетического каучука, который в ряде случаев по своему качеству превосходил натуральный.

Одновременно были предприняты попытки найти легкодоступный материал, подходящий для производства каучука, который походил бы на изопрен. В Первую мировую войну, ввиду острой нехватки резины, для этих целей применяли *диметилбутадиен*:



Диметилбутадиен отличается от изопрена лишь тем, что его молекула содержит две метильные группы, присоединенные к двум средним атомам углерода, тогда как в молекуле изопрена присутствует только одна метильная группа. Полимер, полученный из диметилбутадиена, называли *метиловым каучуком*. Он был дешевле в производстве, и его можно было получать в неограниченных количествах. За время Первой мировой войны Германия произвела около 2500 тонн этого материала. Хотя метиловый каучук и был непрочным, это все-таки был первый синтетический каучук, который нашел промышленное применение.

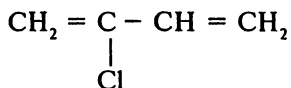
Примерно в 1930 году Германия и Советский Союз сделали новый шаг в создании синтетических каучуков: они использовали в качестве мономера бутадиен — соединение, которое вообще не содержало метильных групп:



Применив в качестве катализатора металлический натрий, они получили полимер, который получил название *буна* (от слов «бутадиен» и «натрий»).

Новый синтетический каучук не вполне удовлетворил нужды его производителей. Вскоре его начали модифицировать, добавляя другие мономеры, которые встраивали в полимерную цепь через определенные интервалы. Наиболее удачным оказалось добавление стирола — соединения, напоминающего этилен, у которого к одному из атомов углерода присоединено бензольное кольцо. Этот каучук получил название *буна С*. По свойствам модифицированная буна очень походила на натуральный каучук, благодаря чему Германия во время Второй мировой войны не испытывала нужды в резине. Советский Союз также самостоятельно удовлетворял свои нужды в этом материале. Сырьем для получения исходных материалов, необходимых для синтеза каучука, служили уголь и нефть.

В Соединенных Штатах широкое производство синтетического каучука началось позднее, вероятно, из-за того, что накануне 1941 года Америка не испытывала нужды в этом материале. Но после Пёрл-Харбора американцам пришлось срочно заняться разработкой этого материала. Они начали производить буну, а также другой вид синтетического каучука, который получил название *неопрен*. Для синтеза неопрена в качестве мономера использовали *хлоропрен*:



Как вы видите, молекула хлоропрена напоминает изопрен, только в ней вместо метильной группы в качестве заместителя присутствует атом хлора.

Атом хлора, присоединенный к полимерной цепи через определенные интервалы, придает синтетическому каучуку большую устойчивость по отношению к некоторым повреждающим факторам, чем у природного аналога. Например, неопрен более устойчив к органическим растворителям, таким, как бензин: он не размягчается и не набухает в бензине так, как натуральный каучук. Поэтому при изготовлении шлангов для бензина предпочтительнее пользоваться неопреном. Неопрен стал первым материалом, который четко продемонстрировал, что получаемый в лабораторной колбе продукт может быть не просто заменителем природных материалов, но и превосходить их по качеству. Это, кстати говоря, касается не только синтетического каучука, но и других синтетических полимеров.

Сегодня производится много аморфных полимеров, на первый взгляд напоминающих натуральный каучук, но сильно отличающихся от него по химическим свойствам. Эти материалы обладают целым набором полезных качеств. Поскольку их нельзя отнести к каучукам, им дали название *эластомеры* (сокращенный вариант названия «эластические полимеры»).

Первый эластомер был получен в 1918 году. Это был *полисульфидный каучук*; его молекула представляла собой цепь, в которой два углеродных атома чередовались с четырьмя атомами серы. Этому веществу дали название *тиокол* (префикс «тио» происходит от греческого слова, означающего «сера»). Неприятный запах, сопровождавший получение тиокола, долгое время сдерживал его широкое производство, но со временем оно приняло промышленные масштабы.

Эластомеры были также получены из акриловых мономеров, из фторуглеродов и силиконов. При их создании химики-органики работают с материалом как художники, творящие новые формы, ранее неизвестные и дополняющие природу.

Глава 11 БЕЛКИ

Главные молекулы жизни

Еще давно ученые, которые занимались исследованием живой материи, заметили, что есть группа веществ, обладающих необычным свойством. При нагревании они переходили из жидкого состояния в твердое, тогда как для большинства веществ характерен обратный процесс. В число этих необычных веществ входили яичный белок, казеин (один из компонентов молока) и глобулин (один из компонентов крови). В 1777 году французский химик Пьер Джозеф Маке объединил все вещества, которые при нагревании свертывались (коагулировали) в отдельный класс, и обозначил их как *белковые вещества*, или *белки* (по аналогии с яичным белком).

Когда в XIX веке химики-органики занялись анализом веществ белковой природы, они обнаружили, что эти загадочные соединения имеют гораздо более сложное строение, чем другие органические молекулы. В 1839 году голландский химик Жерар Иоганн Малдер попытался экспериментально установить эмпирическую формулу белков, и, согласно результатам его исследований, эта формула выглядела так: $C_{40}H_{62}O_{12}N_{10}$. По мнению ученого, она была единой для всех белков. Он полагал, что различия между отдельными белками заключаются в том, что в них к некоему общему для всех соединению прикреплены различные небольшие группы атомов, содержащие серу или фосфор. Малдер назвал это «материнское» вещество *протеином*, что в переводе с греческого означает «самый важный» (этот термин предложил ему заядлый выдумщик названий Берцелиус). Слово «протеин», по замыслу этих ученых, должно было подчеркнуть важность «материнской» молекулы, поскольку на ее основе строились молекулы остальных веществ, относящихся к классу белков. Однако, как выяснилось со временем, выбор термина оказался куда более удачным ввиду чрезвычайно важной роли, которую играют белковые молекулы в жизнедеятельности организмов.

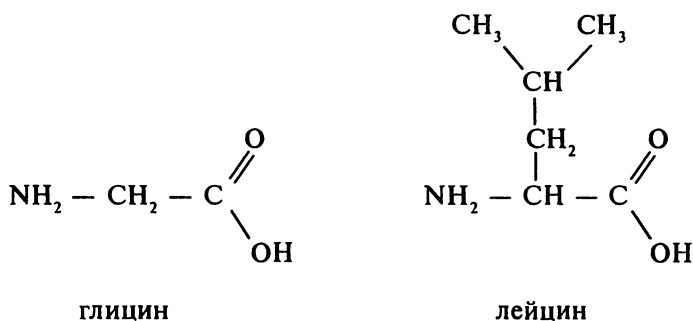
Через 10 лет после открытия Малдера великий немецкий химик-органик Юстус фон Либих установил, что белки даже более важны для жизни, чем углеводы и жиры; они содержат не только углерод, водород и кислород, но и азот, серу и фосфор, которые отсутствуют в углеводах и жирах.

Попытки Малдера и других ученых установить эмпирическую формулу белков заранее были обречены на провал. Белковая молекула была слишком сложной, чтобы с помощью существовавших в то время методов установить ее состав. Однако старт был дан, и химики упорно искали ответ на вопрос: из чего же состоят эти соединения? Со временем был установлен не только атомарный состав белков, но и их структура.

В 1820 году Генри Браконо, который успешно разложил нагреванием в присутствии кислоты целлюлозу на молекулы глюкозы, из которых та состоит (см. главу 10), решил проделать то же самое с желатином — соединением белковой природы. В итоге он получил кристаллическое вещество сладкое на вкус. Сначала Браконо решил, что это сахар, но потом понял, что ошибся: незнакомое вещество содержало азот, так как из него можно было получить аммиак (NH_3). Поскольку в то время было принято соединениям, содержащим азот, давать названия, оканчивающиеся на *-ин*, веществу, которое получил Браконо, было дано название *глицин* (в переводе с греческого «сладкий»).

Вскоре после этого Браконо, нагревая в присутствии кислоты мышечную ткань, получил другое кристаллическое вещество, имевшее белый цвет. Этому веществу он дал название *лейцин*, что в переводе с греческого означает «белый».

Позже, когда были установлены структурные формулы глицина и лейцина, выяснилось, что эти вещества чем-то похожи:

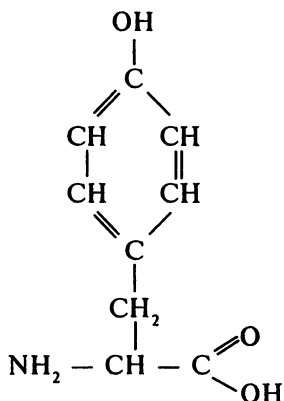


Как видно из формул, в молекуле каждого из них на одном конце находится аминогруппа ($-\text{NH}_2$), а на другом — карбоксильная группа ($-\text{COOH}$). Поскольку карбоксильная группа придает любой молекуле, в которой она содержится, свойства кислоты, полученные вещества называли *аминокислоты*. Те аминокислоты, у которых аминогруппа и карбоксильная группа соединяются одним атомом углерода (как в молекулах глицина и лейцина), называются *альфа-аминокислоты*.

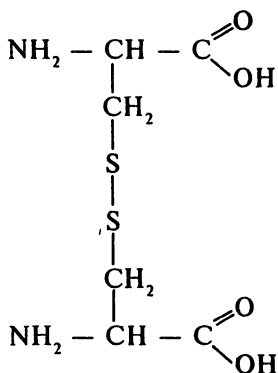
Со временем ученые выделили из белков и другие аминокислоты. Например, Либих из белка, содержащегося в молоке (казеина), выделил аминокислоту *тирозин* (в переводе с греческого означает «сыр», само слово «казеин» в переводе с латыни также означает «сыр»).

Различие между альфа-аминокислотами определяется только природой группы атомов, присоединенных к углероду, находящемуся между аминогруппой и карбоксильной группой. У глицина, самой простой из всех аминокислот, к этому углероду присоеди-

нены только два атома водорода. У других альфа-аминокислот к нему присоединяется углеродсодержащие *боковые группы*:



Я приведу формулу еще одной аминокислоты, она нам понадобится немного позже. Это *цистин*, открытый в 1899 году немецким химиком К.А.Н. Мернером. Молекула цистина как бы «двуголовая»: в ней есть два фрагмента, общих для аминокислот, помимо этого она содержит два атома серы:



В действительности первым выделил цистин английский химик Вильям Гайд Уоллстон. Это произошло еще в 1810 году, и получил его Уоллстон из мочевого камня, отсюда и происходит название этого вещества, поскольку *цистин* в переводе с греческого означает «мочевой пузырь». Мернер только показал, что это давно известное вещество является не только компонентом мочевого камня, но и частью белка.

Цистин легко *восстанавливается* (данный химический термин означает процесс, обратный *окислению*). Это означает, что моле-

кула цистина легко присоединяет два атома водорода, которые, взаимодействуя с атомами серы, разрывают между ними связь. Молекула при этом делится на две половины, каждая из которых содержит SH-группу (ее называют *меркаптогруппой*, или *тиоловой группой*). Восстановленная половинка цистина называется *цистеином*, и две молекулы цистеина легко соединить обратно в цистин. Тиоловые группы очень неустойчивы, и это их качество чрезвычайно важно для правильного функционирования многих белковых молекул. Тонкое равновесие между двумя формами, а также способность легко переходить из одной формы в другую даже при незначительном изменении условий — это отличительная черта веществ, играющих наиболее важную роль в существовании живой материи. Сочетание атомов в тиоловых группах обеспечивает белковым молекулам такое качество.

Тиоловые группы наиболее чувствительны к повреждающему действию радиации, поэтому введение цистеина в организм непосредственно перед облучением или же сразу после него в некоторой степени уменьшает последствия радиации. Введенный цистеин принимает весь удар на себя: под действием радиации главным образом именно в нем происходят те химические изменения, которые могли бы произойти в важнейших компонентах клетки, и это свойство цистеина позволяет рассматривать его как тоненький луч надежды, пробивающийся сквозь мрачные тучи опасений.

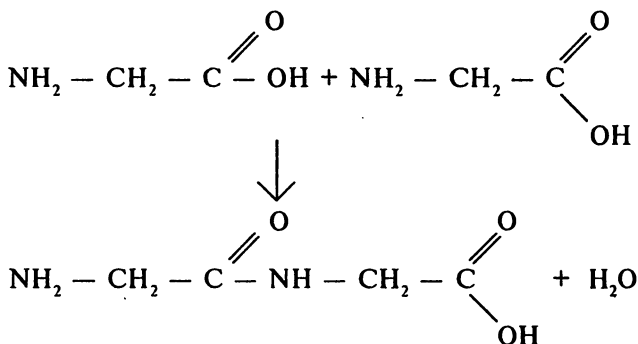
Первоначально было обнаружено всего 19 важных аминокислот. Последнюю из них открыл американский химик Вильям Кумминг Роуз, и считалось маловероятным, что со временем будут обнаружены какие-либо еще, неизвестные доселе¹.

К концу XIX века биохимики уже не сомневались, что белки — это гигантские молекулы, построенные из аминокислот, точно так же, как целлюлоза построена из молекул глюкозы или каучук — из молекул изопрена. Принципиальным являлось только одно отличие: молекула целлюлозы была построена из одинаковых блоков: исключительно из молекул глюкозы, а белки — из различных. И это означало, что при исследовании их структуры могут возникнуть проблемы, с которыми ученые раньше не сталкивались.

Прежде всего следовало установить, из скольких аминокислот состоит молекула белка. Первым, кто предпринял реальные шаги для разрешения этого вопроса, был Эмиль Фишер, который соединил аминокислоты таким образом, что аминокетогруппа одной аминокислоты была связана с карбоксильной группой другой. В 1901 году он осуществил реакцию конденсации аминокис-

¹ В настоящее время известны 23 основных аминокислоты, входящие в состав белков.

лот, связав две молекулы глицина. Помимо «двойного глицина», в результате реакции образовалась еще и молекула воды:



Это самая простая реакция конденсации аминокислот. К 1907 году Фишер синтезировал цепочку, состоящую из 18 аминокислот, 15 из них были молекулы глицина, 3 — молекулы лейцина. Синтезированная молекула по своим свойствам совсем не напоминала белок, но Фишер полагал, что это происходит вследствие недостаточной длины цепи. Поскольку Фишер считал, что именно такие молекулы образуются при переваривании белков, он дал название своей синтетической молекуле *пептид* (происходит от греческого слова «переваривать»). В соответствии с этим названием связь между углеродом карбоксильной группы и азотом аминогруппы получила название *пептидная*.

В 1932 году немецкий биохимик Макс Бергман, ученик Фишера, разработал метод, позволяющий синтезировать пептиды из самых разных аминокислот. Пользуясь методом Бергмана, американский биохимик польского происхождения Джозеф Стюарт Фрутон получил синтетические пептиды, которые могли разрушаться до более мелких фрагментов под действием пищеварительного сока. Поскольку в то время уже накопилось достаточно оснований считать, что пищеварительный сок гидролизует (расщепляет в присутствии воды) только один тип химической связи, это означало, что связь между аминокислотами в синтетическом пептиде идентична связи, существующей между аминокислотами в настоящем белке. Опыты Фрутона рассеяли давнишние сомнения относительно правомерности предложенной Фишером пептидной теории строения белка.

Пептиды, синтезированные в первые десятилетия XX века, были еще слишком малы, чтобы походить на настоящие белки. Как уже упоминалось, Фишер синтезировал молекулу, состоящую из 18 аминокислот; в 1916 году швейцарский химик Эмиль Абдерхальден пошел немного дальше, синтезировав пептид, в составе которого было 19 аминокислот, и этот рекорд в син-

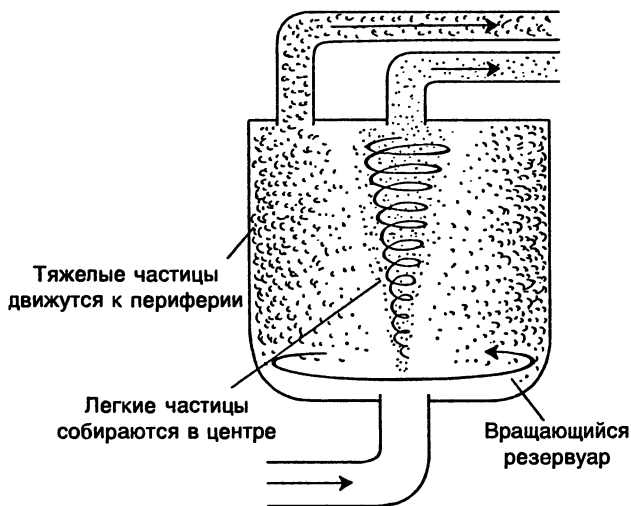
тезе пептидов продержался 30 лет. Химики понимали, что полученные пептиды являются лишь маленькими фрагментами белка, поскольку молекулярная масса белковых молекул очень большая.

Рассмотрим, например, гемоглобин — белок крови. В гемоглобине есть железо, на которое приходится 0,34 процента молекулярной массы этого белка. Химический анализ показывает, что в молекуле гемоглобина содержится четыре атома железа, а это означает, что молекулярная масса белка составляет 65 700. (Посчитайте сами: масса железа в одной молекуле гемоглобина будет равна $55,85 \times 4$, и это произведение составит 0,34 процента от общей массы молекулы белка.) Следовательно, молекула гемоглобина состоит приблизительно из 550 аминокислот (усредненная молекулярная масса аминокислот равна приблизительно 120). Сравните ее с пептидом Абдерхальдена, состоящим всего лишь из 19 аминокислот! К тому же гемоглобин — это средний по размерам белок, есть белковые молекулы куда более крупные.

Молекулярную массу белка точнее всего можно определить, прокрутив его в центрифуге — приспособлении, в котором при вращении частицы под действием центробежной силы будут двигаться от центра к периферии. Если центробежная сила будет больше, чем сила земного притяжения, то частицы, суспендированные (находящиеся во взвешенном состоянии) в жидкости, будут двигаться от центра к периферии быстрее, чем если бы просто оседали под действием собственной тяжести. Например, в центрифуге можно быстро осадить красные кровяные клетки, в ней можно быстро разделить молоко на густые сливки и снятое молоко. В принципе, и красные кровяные тельца осели бы сами под действием собственного веса тяжести, и сливки сами поднялись бы наверх при отстое молока, но это заняло бы много времени, — при центрифугировании разделение частиц происходит гораздо быстрее.

Белковые молекулы, хотя их размеры и очень большие относительно других молекул, все же недостаточно тяжелы, чтобы осесть в растворе под действием собственного веса, да и в обычной центрифуге их не осадить. В 1920 году шведский химик Теодор Сведберг сконструировал *ультрацентрифугу*, с помощью которой можно было разделять молекулы в соответствии с их молекулярной массой. Это стало возможным благодаря очень высоким скоростям вращения. Ультрацентрифуга способна доводить их до 10 000 оборотов в секунду, при этом на частицы действует центробежная сила, в 900 000 раз превышающая силу земного притяжения. За свой вклад в изучение суспензий в 1926 году Сведберг получил Нобелевскую премию в области химии.

Благодаря разделению в ультрацентрифуге на основании различных скоростей *седиментации* (осаждения) белковых молекул биохимики смогли определить молекулярную массу целого ряда



Разделение веществ центрифугированием

белков (в честь создателя центрифуги скорость осаждения определяют в *единицах Сведберга*). Было установлено, что молекулярная масса небольших белковых молекул составляет величины около нескольких тысяч, следовательно, эти белки состоят примерно из 50 аминокислот (все равно гораздо больше, чем из 19). У других белков молекулярная масса исчислялась сотнями тысяч и даже миллионами, и это означало, что состоят они из тысяч или даже десятков тысяч аминокислот. Именно большие размеры молекул стали причиной того, что систематически белки начали изучать только с середины XIX века.

Шотландский химик Томас Грэм был пионером в этой области: он исследовал диффузию — физический процесс смешивания молекул двух веществ при помещении их в один объем. Начал он с прохождения газов через тончайшие отверстия или трубочки. К 1831 году Грэм установил, что скорость диффузии газа обратно пропорциональна квадратному корню его молекулярной массы. С того времени эта закономерность известна в науке как закон Грэма. (Кстати говоря, принцип разделения урана-235 и урана-238 основывался как раз на законе Грэма.)

Через некоторое время Грэм перешел от диффузии газов к диффузии веществ в растворе. Он обнаружил, что такие соединения, как поваренная соль, сахар или сульфат меди, будучи в растворе, могут проходить через пергамент, в то время как камедь, клей и желатин через пергамент не проникают. Очевидно, в пергаменте были микроскопические поры, которые пропускали небольшие молекулы и ионы, но через которые не могли пройти крупные молекулы соединений из второй группы.

Тем веществам, которые могли проходить через пергамент, Грэм дал общее название *кристаллоиды* (поскольку их легко можно было получить в кристаллическом виде); остальным, которые подобно клею не проходили через пергамент, было дано название *коллоиды* («колла» в переводе с греческого — «клей»). Таким образом, появился специальный раздел химии, изучающий крупные молекулы или не связанные в молекулу крупные агрегаты атомов — *коллоидная химия*. Поскольку молекулы белков, а также и других важных для живой ткани веществ, имеют большие размеры, коллоидная химия чрезвычайно важна для *биохимии* — науки, которая изучает химические реакции, протекающие в живых тканях.

Целенаправленное изучение крупных белковых молекул способствовало открытию учеными новых явлений и появлению новых понятий в науке. Допустим, с одной стороны листа пергамента мы помещаем обыкновенную воду, а с другой — коллоидный раствор белка или какого-либо другого вещества. Белковые молекулы в силу своих размеров не смогут проходить через поры в пергаменте, более того, они будут закрывать их и, таким образом, частично препятствовать миграции молекул воды, размеры которых позволяют им пройти через поры. По этой причине воде легче проходить через пергамент в сторону раствора, нежели в противоположном направлении — из него. Приток воды в раствор белка создаст в нем *осмотическое давление*, и способствовать его возникновению будут белки.

В 1877 году немецкий ботаник Пфедфер открыл способ измерения осмотического давления и научился на основании его величины определять молекулярную массу крупных молекул. Метод Пфедфера стал первым научно обоснованным способом определения размеров молекул такого рода.

Но вернемся к проницаемости веществ через мембрану. Наблем раствор белка в мешочек, сделанный из *полунепроницаемого* материала, поры которого достаточно велики, чтобы пропускать маленькие молекулы, но слишком малы, чтобы пропустить молекулы большого размера. Если теперь этот мешочек с раствором белка поместить в проточную воду, то небольшие молекулы и ионы выйдут из него, тогда как крупные молекулы белка останутся. В этом и заключается суть *диализа*, одного из простейших методов очистки белка от низкомолекулярных примесей.

Размеры коллоидных молекул достаточно большие, чтобы рассеивать свет; маленькие молекулы такой способностью не обладают. Более того, крупные молекулы в большей степени рассеивают коротковолновые лучи света, чем длинноволновые. Впервые это свойство крупных молекул в 1869 году обнаружил ирландский физик Джон Тиндаль, со временем оно получило название *эффект Тиндаля*. Этим эффектом и объясняется тот факт, что небо имеет голубой цвет: мельчайшие пылеобразные частицы, присутствующие в атмосфере, преимущественно рассеивают сол-

нечный свет в их коротковолновой, голубой части спектра. На закате достигающий нас свет солнца проходит через более толстый слой атмосферы, и количество пылеобразных частиц на его пути становится достаточным, чтобы рассеивать волны, соответствующие красной и оранжевой частям спектра. Благодаря этому, глядя при закате на горизонт, мы можем любоваться впечатляющим сочетанием красного и оранжевого цветов.

Дневной свет, проходя через коллоидные растворы, рассеивается таким образом, что, если смотреть сбоку, его можно видеть как пучок. Растворы кристаллоидов таким свойством не обладают, поэтому они являются *оптически чистыми*. В 1902 году немецкий химик Ричард Адольф Зигмонти создал *ультрамикроскоп*, принцип действия которого основывался на свойстве светорассеяния. Через такой микроскоп в коллоидных растворах можно было рассмотреть отдельные частицы, которые выглядели как яркие точки света. Через обычный микроскоп такие частицы рассмотреть было нельзя: они были для этого слишком малы. Заслуги Зигмонти были высоко оценены: за достижения в области химии в 1925 году он получил Нобелевскую премию.

Химики, занимавшиеся белками, страстно желали синтезировать длинную *полипептидную* цепь, которая могла бы стать прообразом белка. Методы Фишера и Бергмана для этой цели были непригодны, поскольку они позволяли присоединять к цепи только по одной аминокислоте за раз. Нужно было найти способ проведения цепной реакции, которая позволяла бы соединить в цепь сразу много молекул аминокислот, так, как это делал Бакленд при синтезе высокополимерных пластиков. В 1947 году израильтянин Е. Качальски и химик из Гарварда Роберт Вудвард (тот, который синтезировал хинин) доложили о цепной реакции полимеризации, благодаря которой они получили полипептид. В качестве исходного материала для этой реакции была взята слегка модифицированная аминокислота (в процессе реакции модификация искусно устранялась, так что получившийся полипептид состоял из обычной природной аминокислоты). По новому методу были синтезированы полипептиды, состоящие из сотен и даже тысячи аминокислот.

Обычно для синтеза таких цепей использовались молекулы только одной из аминокислот, глицина или тирозина, поэтому полученные полипептиды называли *полиглицин* и соответственно *политирозин*. Пользуясь новым методом, можно было синтезировать полипептидную цепь, состоящую из двух различных аминокислот, но подобные полипептиды напоминали лишь наиболее простые белки: например, белок шелка *фиброин*.

Некоторые белки, так же как целлюлоза или нейлон, обладают свойствами волокнистых и кристаллических веществ одновременно. Примеры таких белков: фиброин, кератин (белок, содер-

жающийся в коже и волосах), коллаген (белок, содержащийся в сухожилиях и соединительной ткани). Немецкий физик Р.О. Герцог доказал кристаллическую природу этих белков, установив, что они способны преломлять рентгеновские лучи. Другой немецкий физик, Р. Брилл, проведя рентгеноструктурный анализ, выявил, каким образом расположены атомы в полипептидной цепи. Британский биохимик Вильям Томас Эстбери и другие исследователи в 30-х годах XX века с помощью рентгеноструктурного анализа получили дополнительную информацию, касающуюся строения белковых молекул. Они смогли рассчитать с достаточной точностью расстояние между соседними атомами и углы между соседними связями в полипептидной цепи. Согласно их данным, молекула фиброина полностью вытянута: это означает, что атомы, ее составляющие, выстроены практически в одну прямую (безусловно, насколько им позволяют углы между связями).

Состояние молекулы, при котором она полностью вытянута, — это наиболее простой вариант ее строения, которому дано название *бета-конфигурация*. Если вытянуть волос, то молекулы кератина примут такую же конфигурацию, как и молекулы фиброина (если волос предварительно намочить, то при вытягивании его длина может увеличиться примерно втрое). В обычном же, нерастянутом, состоянии структура кератина более сложная, ее называют *альфа-конфигурация*.

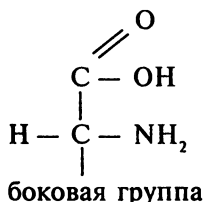
В 1951 году Линус Полинг и Роберт Брейнард Кори предположили, что в альфа-конфигурации полипептидная цепь имеет форму спирали (подобно винтовой лестнице). Для того чтобы узнать, как располагаются атомы в молекуле белка при ее обычном состоянии, то есть когда молекула не растянута и связи имеют естественное направление, они построили различные структурные модели и пришли к заключению, что на каждый виток спирали приходится 3,6 молекулы аминокислот, что соответствует расстоянию в 5,4 ангстрема (1 ангстрем равен 10^{-10} метра).

Что позволяет молекуле сохранять форму спирали? Почему она самопроизвольно не растягивается? Полинг предположил, что спиральная структура сохраняется благодаря так называемым *водородным связям*. Как вы уже знаете, при взаимодействии атома водорода с атомами кислорода или азота последние оттягивают общую электронную пару на себя, вследствие чего атом водорода приобретает небольшой положительный заряд, а атомы кислорода или азота — небольшой отрицательный. Если молекула имеет спиральную структуру, то атомы водорода одного витка спирали периодически входят в тесный контакт с атомами кислорода или азота соседнего витка, расположенного выше или ниже, и благодаря противоположным зарядам эти атомы будут притягиваться друг к другу — между ними возникнет водородная связь. Этой связи, хоть и непрочной — она в 20 раз слабее обычной химической, — вполне достаточно, чтобы «скреплять» вит-

ки между собой и тем самым сохранять спиральную форму молекулы. Однако, если потянуть за концы такой молекулы, она легко вытянется и примет форму волокна.

Мы рассмотрели только «позвоночник» белковой молекулы, то есть цепь, состоящую из атомов углерода, как промежуточных, так и принадлежащих карбоксильной группе, и атомов азота, принадлежащих аминок группам: ...CCNCCNCCNCCN... Но в структуре белка немаловажную роль играют и боковые группы аминокислот, которые могут иметь самое разное строение.

Все аминокислоты, за исключением глицина, имеют по крайней мере один асимметрический атом углерода — тот, который находится между карбоксильной и аминок группами. Поэтому каждая аминокислота может существовать в виде двух оптических изомеров, их общие формулы таковы:



Однако, согласно данным рентгеноструктурного анализа, полипептидные цепи состоят исключительно из *L*-аминокислот. В таком случае боковые группы должны попеременно находиться по обе стороны от основной цепи. Если бы полипептидная цепь состояла из смеси изомеров, она была бы нестабильной: при чередовании *L*- и *D*-аминокислот все боковые группы торчали бы в одну сторону и их тесное скопление нарушило бы спиральную структуру полипептидной цепи, вытянув ее.

Помимо этого боковые группы принимают участие во взаимодействии полипептидных цепей друг с другом. Если положительно заряженная боковая группа одного полипептида окажется рядом с отрицательно заряженной боковой группой другого, между ними возникнет электростатическое взаимодействие, способствующее образованию межполипептидных связей. Боковые группы также могут предоставлять атомы водорода для образования водородных связей. Цистеин — аминокислота, у которой две головки, то есть концевых фрагмента, с помощью которых она способна образовывать пептидные связи, может одним концом участвовать в формировании одной полипептидной цепи, а другим — в пептидной связи другого полипептида. Таким образом, получается полипептид, состоящий из двух цепей, соединенных между собой через два атома серы так называемой *дисульфидной связью*. Связывание полипептидных цепей между собой очень важно для прочности белковых волокон. Вот поче-

му столь тоненькая паутина оказывается такой прочной, вот почему из кератина могут образовываться столь жесткие структуры, как ногти у человека, когти — у тигра, у крокодила — чешуя, у носорога — его рог.

Все это касается структуры фибриллярных белков. А что известно о белках, находящихся в растворенном состоянии? Какова их структура?

Безусловно, в растворах белки также обладают характерной структурой. В растворах белки чрезвычайно чувствительны к нагреванию или интенсивному перемешиванию, к действию мизерных количеств кислоты, щелочи, а также многих других факторов, которые вызывают *денатурацию* растворенных белков. Это означает, что многие их свойства изменяются и, главное, белки теряют способность выполнять предназначенные им функции. Более того, денатурация, как правило, процесс необратимый: например, сваренное вкрутую яйцо вы никогда не сможете превратить в яйцо всмятку.

По всей видимости, при денатурации происходит изменение специфической конформации полипептидной цепи. Но какие именно особенности структуры при этом нарушаются? Рентгеноструктурный анализ не в состоянии дать ответ на этот вопрос, так как данный метод не пригоден для исследования веществ в растворах.

Исследователи искали новые подходы к решению этой задачи. В 1928 году индийский физик Чандрасекхара Венката Раман обнаружил, что у света, рассеиваемого молекулами в растворе, несколько изменяется длина волны. Проанализировав природу изменения длины волны, можно судить о структуре молекул, вызвавших этот эффект. За открытие так называемого *рамановского эффекта* ученый в 1930 году получил Нобелевскую премию в области физики (метод, в основу которого был положен этот эффект, получил название *рамановская спектрофотометрия*).

Двадцать лет спустя был разработан другой тонкий метод, принцип которого основан на том, что ядра атомов обладают магнитными свойствами. Молекулы при помещении их в сильное магнитное поле поглощают часть радиочастотных волн, и анализ такого поглощения позволяет судить о связи атомов в молекуле. Этот метод получил название *ядерный магнитный резонанс*, или сокращенно ЯМР. Этот метод особенно пригоден для определения местоположения атомов водорода внутри молекулы, которое нельзя определить с помощью рентгеноструктурного анализа. Метод ЯМР разработали в 1946 году две независимые группы ученых: одна под руководством Е.М. Перселла (позднее он стал первым, кто выявил, что в космосе нейтральные атомы водорода испускают волны радиочастотного диапазона; см. главу 2); другая под руководством американского физика швейцарского происхождения Феликса Блоха. За это научное достиже-

ние Перселл и Блох в 1952 году стали солауреатами Нобелевской премии в области физики.

Но вернемся к денатурации белков. Американские химики Пол Мид Доути и Элкан Роджерс Блоут методом светорассеяния установили, что синтетические полипептиды в растворе имеют спиральную конформацию. Они показали, что при изменении кислотности раствора полипептиды утрачивают спиральную структуру и приобретают форму неупорядоченного клубка и что при восстановлении кислотности раствора клубки могут обратно переходить в спирали. Эти ученые также показали, что переход молекул из спиралей в клубки сопровождается уменьшением оптической активности растворов. Они даже выяснили, в какую сторону закручивается в спираль белковая молекула: как правосторонняя резьба на винте.

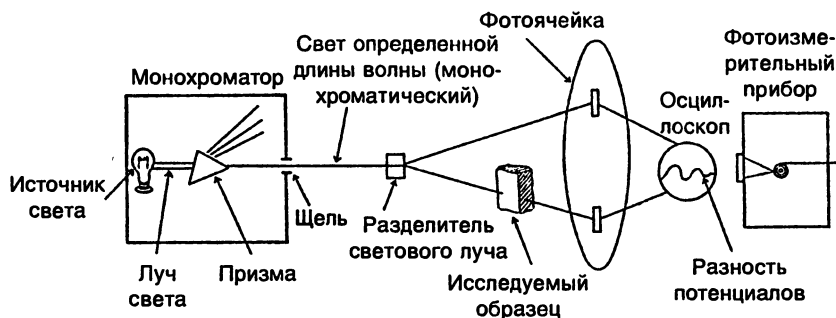
На основании полученных результатов можно было предположить, что при денатурации белка нарушается его спиральная структура.

Аминокислотный состав цепи

Все, о чем говорилось выше, касается общего обзора структуры молекулы белка, можно сказать, ее внешнего вида. А что известно о ее внутреннем строении? Например, из скольких молекул аминокислот каждого вида состоит молекула какого-либо определенного белка?

Можно было бы расщепить молекулу белка на составляющие ее аминокислоты (нагреванием в присутствии кислоты) и затем определить, сколько каждой аминокислоты содержится в смеси. Но к сожалению, некоторые аминокислоты настолько похожи по химическим свойствам, что четко отличить их, пользуясь обычными химическими методами, не представляется возможным. Аминокислоты хорошо разделяются с помощью хроматографии (см. главу 5). В 1941 году британские биохимики Арчер Джон Портер Мартин и Ричард Лоуренс Миллингтон Синг впервые применили хроматографию для этой цели. В качестве материала, которым наполняют хроматографическую колонку, они использовали крахмал. В 1948 году американские биохимики Стэнфорд Моор и Вильям Говард Стейн усовершенствовали метод хроматографии в крахмале, сделав его высокоэффективным.

Суть этого метода такова: раствор смеси аминокислот наносят на крахмал, помещенный в колонку. После того как аминокислоты проникнут в крахмал, через колонку начинают пропускать растворитель. Поскольку скорость движения вниз по колонке у каждой аминокислоты своя, то основания колонки они достигнут через разное время и, следовательно, выходить из нее будут по отдельности. Вытекающую из колонки жидкость собирают в



Устройство спектрофотометра

пробирки, затем в них добавляют реактивы, которые, взаимодействуя с аминокислотами, образуют окрашенные продукты. Интенсивность окраски раствора, которая прямо пропорциональна содержанию в нем определенной аминокислоты, определяют с помощью прибора, который получил название *спектрофотометр*. Этот прибор позволяет измерить, сколько света определенной длины волны поглощает данный раствор.

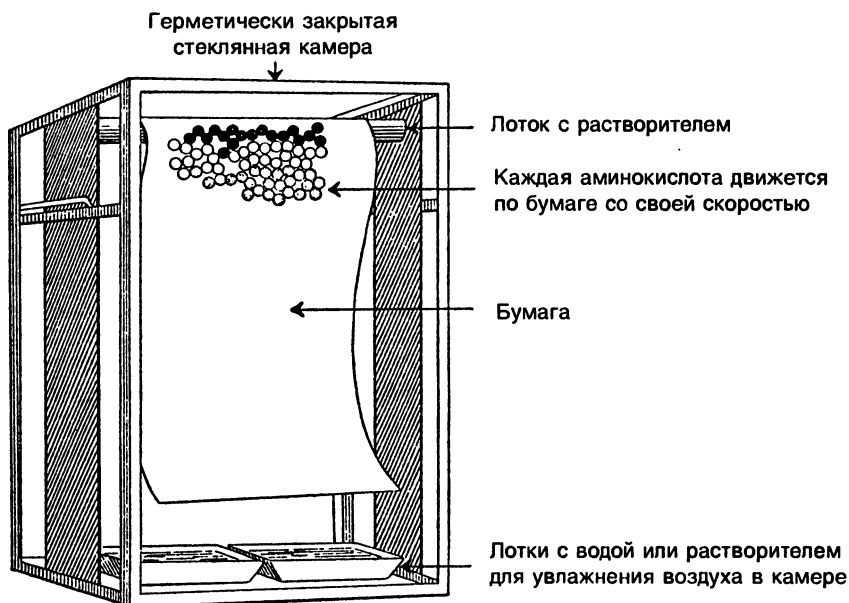
Химики часто применяют спектрофотометр и для других целей. Если через раствор какого-либо вещества пропускать свет, длина волны которого постоянно увеличивается, то по мере увеличения длины волны поглощение света сначала будет постепенно возрастать, при определенной длине волны оно достигнет максимума, после которого будет наблюдаться уменьшение поглощения света до минимума. В результате получается так называемый *спектр поглощения* данного вещества. Каждая группа атомов имеет свой характерный пик (или пики) поглощения. Как показал еще в начале XX века американский физик Вильям Вебер Кобленц, эта закономерность справедлива и для инфракрасной области света. Его приборы были слишком примитивными для того, чтобы этот метод приобрел практическое значение, но уже во время Второй мировой войны появился и начал использоваться для анализа структуры сложных соединений *инфракрасный спектрофотометр*, способный автоматически сканировать и записывать спектры поглощения веществ в области от 2 до 40 микрон. Оптические методы химического анализа, к которым относятся спектрофотометрия, измерение светорассеяния и другие, чрезвычайно тонки и совершенно не деструктивны: образцы после анализа сохраняются неизменными и их можно затем использовать для других целей. Со временем классические аналитические методы, которыми пользовались Либих, Дюма и Прегль, о чем говорилось в предыдущей главе, полностью заменились на оптические.

Хроматография в крахмале — достаточно эффективный способ определения аминокислотного состава белков, но к тому вре-

мени, когда он был усовершенствован, Мартин и Синг разработали более простой метод: так называемую хроматографию на бумаге. Пользуясь этим методом, аминокислоты можно было разделить на листе фильтровальной бумаги (это специальная пористая бумага, сделанная из особо чистой целлюлозы). В чем суть этого метода? Одну-две капли раствора аминокислот наносят на левый нижний угол такого листа и затем прилегающий к углу край погружают в растворитель, например в бутиловый спирт. Вследствие действия капиллярных сил растворитель начнет подниматься по бумаге вверх. (Опустите край промокательной бумаги в воду, и вы увидите, как это происходит.) Растворитель дойдет до того места, куда были нанесены аминокислоты, и потянет их за собой выше по бумаге. Как и в случае колоночной хроматографии в крахмале, скорости движения у разных аминокислот будут отличаться, поэтому через некоторое время нанесенное пятно, в котором аминокислоты находились в смеси, разделится и на бумаге появится несколько пятен, расположенных по вертикали. Каждое такое пятно может содержать не одну аминокислоту, а две или три. Для того чтобы их также разделить, бумагу высушивают, поворачивают на 90 градусов и уже другую, смежную, сторону листа погружают в другой растворитель, который разделит компоненты, присутствующие в пятнах аминокислот. В конце процедуры бумагу высушивают и сбрызгивают реактивом, который окрашивает аминокислоты, теперь они видны на бумаге как окрашенные пятна. Зрелище получается довольно эффектным: все аминокислоты, которые находились в одном растворе, разошлись по бумаге в вертикальном и горизонтальном направлениях и образовали мозаику из цветных пятен. Опытные биохимики по положению пятна могут сказать, какая аминокислота в нем находится, и, следовательно, им достаточно одного взгляда, чтобы сказать, из каких аминокислот состоит исследуемый белок. Вырезав пятно и вымыв из бумаги аминокислоту, они могут определить, сколько ее содержалось в данном белке.

Мартин и А.Т. Джеймс в 1952 году применили принципы этого метода для разделения газов и разработали особый вид хроматографии — *газовую хроматографию*. Если пропускать смесь газов или паров с током инертного газа, например азота или гелия, через колонку, наполненную жидким растворителем или абсорбирующим (впитывающим) веществом, то по мере прохождения через колонку смесь разделится. Газовая хроматография нашла особенно широкое применение в силу быстрой скорости разделения и высокой чувствительности метода: с ее помощью можно определить следовые количества загрязняющих веществ.

Хроматографический анализ позволил точно определить аминокислотный состав многих белков. Например, было установлено, что молекула белка крови, который называется *сывороточ-*



Хроматография на бумаге

ным альбумином, содержит 15 остатков глицина, 45 — валина, 58 — лейцина, 9 — изолейцина, 31 — пролина, 33 — фенилаланина, 18 — тирозина, 1 — триптофана, 22 — серина, 27 — треонина, 32 — цистина, 4 — цистеина, 6 — метионина, 25 — аргинина, 16 — гистидина, 58 — лизина, 46 — аспарагиновой кислоты и 80 — глутаминовой кислоты. То есть сывороточный альбумин, белок с молекулярной массой 69 000, построен из 526 аминокислот, принадлежащих к 18 различным типам (в этом белке отсутствует один тип аминокислоты — аланин).

Американский биохимик немецкого происхождения Эрвин Бранд предложил обозначать аминокислоты символами, которые широко используются до настоящего времени. Поскольку первая буква названия к тому времени уже использовалась для обозначения элементов, чтобы не вносить путаницу, аминокислоты обозначили первыми тремя буквами их названия: аланин — *Ала*, аргинин — *Арг*, аспарагиновая кислота — *Асп*, аспарагин — *Асн*, валин — *Вал*, гистидин — *Гис*, глицин — *Гли*, глутаминовая кислота — *Глу*, глутамин — *Глн*, лейцин — *Лей*, изолейцин — *Иле*, лизин — *Лиз*, метионин — *Мет*, пролин — *Про*, серин — *Сер*, тирозин — *Тир*, треонин — *Тре*, триптофан — *Три*, фенилаланин — *Фен*, цистеин — *Цис*.

Таким образом, в сокращенном виде формула сывороточного альбумина будет выглядеть так: Гли₁₅Вал₄₅Лей₅₈Иле₉Про₃₁Фен₃₃—

Тир₁₈ Три₁ Сер₂₂ Тре₂₇ Цис₃₆ Мет₆ Арг₂₅ Гис₁₆ Лиз₅₈ Асп₄₆ Глу₈₀. Как сами видите, эта запись более короткая, хотя, конечно, и ее не так просто прочитать.

Установление эмпирической формулы белка — это только половина дела, я бы даже сказал, меньшая половина. Перед биохимиками встала новая задача: расшифровать структуру белковой молекулы. Было много оснований считать, что свойства каждого белка зависят от того, в каком порядке аминокислоты соединены в полипептидную цепь. Первоначально выяснение этого вопроса казалось неразрешимой проблемой. Число всевозможных сочетаний из 19 аминокислот даже в пептидной цепи, в которой каждая аминокислота будет встречаться по разу, достигает величины, равной примерно 120 миллионам миллиардов. Если вам в это трудно поверить, то посчитайте, сколько перестановок можно сделать из 19: вычислите произведение $1+2+3+.....+19$. А если вы не сильны в арифметике, возьмите 19 шашек или кубиков, пронумеруйте их от 1 до 19 и выстраивайте все в ряд так, чтобы порядок номеров никогда не повторялся. Уверен, что это занятие вам скоро надоест.

Если же вы имеете дело с белком такого размера, как альбумин, в состав которого входит более 500 аминокислот, то число всевозможных вариантов последовательности аминокислот в полипептидной цепи будет равно приблизительно 10^{600} : представляете себе величину, равную единице, за которой следуют 600 нулей? Это число фантастически большое — оно больше, чем количество субатомных частиц во всей Вселенной, или, коль скоро мы начали пользоваться космическими масштабами, можно сказать по-другому: если всю Вселенную плотно заполнить до отказа субатомными частицами, то и тогда их количество будет гораздо меньше 10^{600} .

Вот почему определение аминокислотной последовательности белка на первый взгляд казалось неразрешимой задачей. Тем не менее за нее активно взялись, и со временем эта проблема была разрешена.

В 1945 году британский биохимик Фредерик Сангер занялся определением порядка аминокислот в пептидной цепи. Начал он с того, что попытался определить, какая аминокислота находится на том конце цепи, на котором находится аминогруппа. Эту аминокислоту называют *N-концевой* (а тот конец полипептидной цепи, на котором она расположена, — *N-концом*).

Понятно, что аминогруппа этой аминокислоты свободна, то есть к ней не присоединена другая аминокислота. Сангер воспользовался реактивом, который связывался со свободной аминогруппой, но не взаимодействовал с аминогруппами, принимавшими участие в связи с карбоксильными группами. Этим

реактивом был динитрофенол, и при взаимодействии его с пептидом образовывалось динитрофенольное производное пептида. Таким образом, динитрофенолом метили N-концевую аминокислоту, и поскольку его связь с этой аминокислотой была более прочной, чем связь между аминокислотами в цепи, после разрушения пептида на отдельные фрагменты он мог выделить ту из них, которая была связана с динитрофенолом. Динитрофенол имеет желтый цвет, поэтому аминокислоту, меченную им, при хроматографии на бумаге легко определить по желтой окраске пятна. Таким способом Сангер выделил и идентифицировал аминокислоту, находившуюся на N-конце полипептидной цепи. Пользуясь таким же принципом, он идентифицировал находящуюся на противоположном конце цепи аминокислоту, у которой была свободная карбоксильная группа. Эту аминокислоту называют *C-концевой* (а тот конец полипептидной цепи, на котором она расположена, — *C-концом*).

Так, отщепляя по одной аминокислоте с каждого конца, Сангер смог определить *концевые аминокислоты* для некоторых пептидов.

Сангер продолжил атаку на полипептидную цепь по всей ее длине. Он работал с инсулином, поскольку, с одной стороны, этот белок имеет очень важное значение для функционирования организма, а с другой — его размеры относительно небольшие: молекулярная масса инсулина в его простейшей форме составляет всего 6000. Обработка инсулина динитрофенолом показала, что этот белок содержит две различные N-концевые аминокислоты, на основании чего можно было сделать вывод, что состоит он из двух полипептидных цепей. Цепи соединяются между собой молекулами цистина. Обработав инсулин реактивом, который разрушает связь между двумя атомами серы в цистине, Сангер расщепил молекулу инсулина на две отдельные полипептидные цепи. У одной цепи на N-конце был глицин (ее называли А-цепью), у другой — фенилаланин (ее называли Б-цепью).

Сангер и его коллега Ганс Таппи были первыми, кто расщепил полипептиды на отдельные аминокислоты и идентифицировал 21 аминокислоту, из которых состоит А-цепь, и 30 аминокислот, из которых состоит Б-цепь. Затем, чтобы определить, в какой последовательности эти аминокислоты соединяются в цепи, исследователи расщепили полипептид не на отдельные аминокислоты, а на фрагменты, состоящие из двух или трех аминокислот. Это было достигнуто путем так называемого частичного гидролиза, при котором разрушались только наиболее слабые из пептидных связей, или обработкой его пищеварительным соком, который разрушает связи только между определенными аминокислотами, оставляя остальные нетронутыми.

С помощью этих ухищрений Сангеру и Таппи удалось расщепить пептидные цепи на большое количество фрагментов. Напри-

мер, из Б-цепи было получено 48 различных фрагментов, 22 из них содержали по две аминокислоты, 14 — по три и 12 — более трех аминокислот.

Затем маленькие пептиды выделяли, расщепляли на аминокислоты, которые, в свою очередь, разделяли хроматографией на бумаге. Теперь ученые могли приступить к определению аминокислотной последовательности во фрагментах. Допустим, они имели дело с дипептидом, состоящим из валина и изолейцина. Возникал вопрос: каков их порядок: Вал-Иле или Иле-Вал? Другими словами, какая аминокислота является N-концевой: валин или изолейцин? (Принято считать N-конец полипептидной цепи левым и соответственно N-концевую аминокислоту — первой, поскольку, как правило, счет ведется слева направо.) Разрешить этот вопрос можно было с помощью динитрофенола. Если этот реагент свяжется с валином, то N-концевой аминокислотой является валин и последовательность аминокислот — Вал-Иле, если же остаток динитрофенола обнаружится в изолейцине, то последовательность аминокислот Иле-Вал.

Последовательность в трехаминокислотном фрагменте также можно установить. Допустим, фрагмент состоит из лейцина, валина и глутаминовой кислоты. С помощью динитрофенола можно определить N-концевую аминокислоту. Допустим, это лейцин, тогда последовательность аминокислот должна быть Лей-Вал-Глу или Лей-Глу-Вал. Для того чтобы выбрать правильный вариант, каждый из двух трипептидов синтезируют, затем наносят их на бумагу, проводят хроматографию и смотрят, который окажется на том же месте, где расположено пятно, полученное при хроматографии исследуемого фрагмента.

Что касается более крупных пептидных фрагментов, то их можно расщепить на более мелкие и провести такой же анализ.

После определения последовательности аминокислот во фрагментах, на которые расчленили инсулин, следовало собрать эти фрагменты в правильном порядке, чтобы получилась исходная полипептидная цепь, то есть решить задачу, подобную головоломке. Существовало несколько путей, которые могли бы привести к разрешению этой проблемы. Один из них был таков: допустим, в А-цепи содержится только один остаток аланина. В то же время среди фрагментов А-цепи аланин обнаруживался дважды: в комбинациях Ала-Сер и Цис-Ала. Это означает, что в исходной А-цепи порядок аминокислот таков: Цис-Ала-Сер.

Идя такими путями, Сангер и Таппи постепенно собрали все фрагменты воедино. Два года трудились они над точной идентификацией фрагментов и их правильным воссоединением в единую структуру, и к 1952 году работа над определением аминокислотной последовательности А- и Б-цепей инсулина была завершена. Затем было выяснено, каким образом две цепи соединяются друг с другом. В 1953 году они доложили о триум-

фальном завершении работы по расшифровке структуры инсулина. Впервые в истории науки была установлена полная аминокислотная последовательность в столь важном белке. За проделанную работу Сангер в 1958 году был удостоен Нобелевской премии в области химии.

Биохимики немедленно воспользовались методом Сангера для определения структуры других белковых молекул. В 1959 году была установлена структура *рибонуклеазы* — одноцепочечного белка, состоящего из 124 аминокислот, в 1960 году — белковой единицы вируса табачной мозаики, включающей в себя 158 аминокислот. В 1964 году была расшифрована структура трипсина — белка, молекула которого состоит из 223 аминокислот. К 1967 году метод определения аминокислотной последовательности был автоматизирован. Австралийский биохимик, швед по происхождению, П. Эдман сконструировал аминокислотный анализатор — прибор, с помощью которого, имея всего 5 миллиграммов белка, можно было последовательно идентифицировать аминокислоты, из которых он состоит.

С помощью этого анализатора 60 аминокислот, из которых построена цепь *миоглобина*, были идентифицированы за четыре дня.

Зная аминокислотную последовательность в полипептидной цепи, можно было попытаться искусственно создавать такие цепи из аминокислот, соединяя их в нужном порядке. Естественно, начали с маленьких пептидов. Первым белком, который синтезировали в лаборатории, был *окситоцин* — гормон, выполняющий важные функции в организме. Молекула окситоцина очень маленькая: она состоит из 8 аминокислот. В 1953 году американский биохимик Винцент де Виньо успешно синтезировал пептидную цепь, в точности такую же, как и молекула окситоцина. Синтетический пептид обладал всеми свойствами природного гормона. За эту работу Винцент де Виньо в 1955 году был удостоен Нобелевской премии в области химии.

Более сложные белковые молекулы были искусственно созданы по прошествии нескольких лет. Ведь для того, чтобы синтезировать определенную молекулу с заданной аминокислотной последовательностью, нужно было по одной «нанизывать» аминокислоты на пептидную цепь. В 50-х годах XX века это было так же трудно осуществимо, как и полвека назад, во времена Фишера. После присоединения аминокислоты к цепи необходимо было отделить получившийся пептид, удлинённый на одно звено, от исходных веществ и побочных продуктов реакции, что представляло собой довольно утомительную и скучную процедуру. К тому же на каждом этапе значительная часть исходных материалов терялась, и в итоге, даже при синтезе коротких цепей, получались мизерные количества конечного продукта.

В начале 1959 года исследователи из группы, которую возглавлял американский биохимик Роберт Брюс Меррифилд, придума-

ли способ, позволяющий обойти эту проблему. Они присоединили первую аминокислоту, ту, с которой начинался синтез пептида, на полистироловые гранулы. Эти гранулы не растворялись в используемых жидкостях, и их можно было легко отделить от раствора обычным фильтрованием. К этим гранулам добавляли раствор аминокислоты, которую нужно было соединить с первой, опять фильтровали, затем добавляли раствор, содержащий третью аминокислоту, и т. д. Поэтапное присоединение аминокислот получилось таким простым и легким, что его можно было автоматизировать и при этом почти ничего не терялось. В 1965 году таким образом синтезировали молекулу инсулина; в 1969 году подошла очередь синтеза рибонуклеазы, состоящей из 124 аминокислот, а в 1970 году американский биохимик, китаец по происхождению, Чо Хао Ли синтезировал 188-аминокислотную цепь гормона роста человека.

По мере развития представлений о строении молекулы белка как цепи аминокислот, расположенных в строго определенной последовательности, у исследователей все больше возникал соблазн узнать, каким образом полипептидная цепь изгибается и заворачивается, какова точная форма белковой молекулы.

За поиски ответа на эти вопросы энергично принялись англичане Макс Фердинанд Перуц, австриец по происхождению, и Джон Коудери Кендрю — оба химики. Перуц выбрал гемоглобин, поскольку он с ним работал раньше. Этот белок крови, который переносит кислород, состоит примерно из 12 000 атомов. Кендрю в качестве объекта исследования выбрал миоглобин — белок мышц, по размеру примерно в 4 раза меньше гемоглобина, но выполняющий такую же функцию. Для исследования этих белков они воспользовались методом рентгеноструктурного анализа.

Перуц соединял молекулы вышеуказанных белков с массивными атомами золота или ртути, которые особенно хорошо преломляли рентгеновские лучи. Рентгеноструктурное изображение такой молекулы давало ключ к пониманию структуры исследуемого белка. Они достигли успеха, получив в 1959 году изображение молекулы миоглобина, а годом позже было получено изображение молекулы гемоглобина. Благодаря этому стало возможным построить трехмерные модели этих молекул, в которых каждый отдельный атом располагался в наиболее вероятном для него положении. Работа, проведенная Перуцем и Кендрю была высоко оценена: в 1962 году они поделили Нобелевскую премию в области химии.

Есть все основания полагать, что трехмерные структуры молекул белков, полученные по методу Перуца и Кендрю, помимо всего прочего зависят и от природы аминокислотной последовательности. Аминокислотная цепочка имеет естественные точки перегиба, и, когда цепочка изгибается, между ее фрагментами происходит образование связей, которые и фиксируют должным

образом полученную структуру. Какие складки образует полипептидная цепь и какова природа связей между ее участками — на этот вопрос можно ответить, если правильно рассчитать все межатомные расстояния в молекуле и все углы между связями, соединяющими атомы. Все их можно рассчитать, но это будет утомительная работа. Тут на помощь могут прийти компьютеры, которые не только произведут вычисления, но и отобразят готовые модели на мониторе.

В дальнейшем список белков, для которых была установлена трехмерная структура, стал быстро пополняться. В 1969 году английский биохимик Дороти Кроуфут Ходжкин определила форму молекулы инсулина, который к тому времени стал все больше привлекать внимание молекулярных биологов.

Ферменты

Благодаря сложности структуры и практически бесконечному разнообразию белки выполняют в организме самые различные функции.

Одной из важных функций белков является их участие в образовании структурного каркаса организма. Если у растений основным материалом для строительства каркаса служит целлюлоза, то у животных организмов для той же цели используются фибриллярные белки. Пауки прядут свою осеннюю паутину из волокон белка, личинки насекомых из таких же волокон делают нити кокона. Чешуя рыб и рептилий большей частью состоит из белка кератина. Волосы, перья, рога, копыта, когти животных и ногти на пальцах у человека — все это та же самая видоизмененная чешуя, и все эти образования состоят из кератина. Кожа своей прочностью и упругостью обязана кератину, содержащемуся в ней в большом количестве. Внутренние поддерживающие ткани: хрящи, связки, сухожилия и даже органический каркас костей — все построено, главным образом, из белковых молекул, таких, как *коллаген* и *эластин*. Мышцы также состоят из сложного фибриллярного белка, название которому *актомиозин*.

Но во всех перечисленных примерах белки по сравнению с целлюлозой выполняют более емкие функции. Природа усовершенствовала белковые волокна: они более прочные и более гибкие. Главная функция целлюлозы в растениях — опорная, и самое активное движение, на которое способно растение, — это сгибание и раскачивание под действием ветра. Опорные ткани животных организмов должны позволять совершать самые разнообразные быстрые и точные движения как телу животного, так и его отдельным частям.

Однако опорная функция далеко не самая сложная из тех, которые выполняют белковые волокна, и соответственно по стро-

ению фибриллярные белки принадлежат к наиболее простым белковым молекулам. Большинство других белков выполняют куда более замысловатую и тонкую работу.

Для обеспечения жизнедеятельности во всех ее проявлениях в тканях организма должны протекать химические реакции. Причем не просто протекать — они должны идти с большими скоростями и, что очень важно, согласованно одна с другой, потому что жизнедеятельность организма не обусловлена какой-то отдельно взятой химической реакцией, она осуществляется за счет очень многих самых разнообразных реакций, протекающих одновременно и, повторяю, согласованно. Более того, все эти реакции должны идти в очень мягких условиях: живая природа не пользуется ни высокой температурой, ни сильными кислотами или щелочами, ни высоким давлением — излюбленным арсеналом средств химиков-органиков. Кроме того, химические реакции в организме должны протекать под постоянным строгим контролем. Дело в том, что интенсивность биохимических процессов не постоянна: она зависит от условий внешней среды и потребностей организма — факторов, которые постоянно изменяются. Чрезмерное замедление или, наоборот, ускорение даже одной реакции — а их в организме одновременно протекают тысячи! — может привести к менее или более серьезным нарушениям в функционировании всего организма.

И контроль над этими реакциями осуществляют белки.

К концу XIX века химики, следуя примеру Лавуазье, занялись изучением количественных аспектов химических реакций; большей частью их интересовали скорости, с которыми эти реакции протекают. Они обратили внимание на тот факт, что скорость реакции очень чувствительна к малейшим изменениям условий, в которых эта реакция протекает. Например, когда Кирхгоф обнаружил, что крахмал в присутствии кислоты можно превратить в сахар, он обратил внимание и на то, что кислота, которая значительно ускоряла это превращение, сама не расходовалась. Вскоре появились и другие примеры подобных «ускорителей» химических превращений. Немецкий химик Иоганн Вольфганг Дюберайнер обнаружил, что мелко измельченная платина (ее называют *платиновая чернь*) способствует соединению кислорода с водородом и образованию из них воды — реакции, которая без платины может протекать только при высоких температурах. Дюберайнер даже придумал самозажигающуюся лампу, в которой струя водорода, направленная на покрытую платиновой чернью поверхность, вызывала появление огня.

Поскольку подобное ускорение реакций чаще наблюдалось в случае разложения сложных веществ на более простые, Берцелиус дал этому феномену название *катализ* (от греческого слова,

означающего «разложение»). Таким образом, платиновую чернь стали называть катализатором соединения кислорода с водородом, а кислоту — катализатором гидролиза крахмала и образованию из него глюкозы.

Большую заинтересованность в катализаторах выказали промышленники. Например, самый простой способ получения серной кислоты (наиболее важного неорганического химиката, не считая воздуха, воды и, конечно, поваренной соли) заключается в сжигании серы до получения сначала двуокиси (SO_2), а затем трехокиси серы (SO_3). Переход двуокиси серы в трехокись в отсутствие катализатора, такого, как платиновая чернь, протекает со скоростью, которую можно сравнить разве что со скоростью движения улитки. Другие, наиболее часто используемые катализаторы — это мелко раздробленный никель, который в большинстве случаев заменяет платину, поскольку он гораздо дешевле, хромистая медь, пятиокись ванадия, окись железа, двуокись марганца. Фактически эффективность химического процесса в масштабах производства в значительной степени зависит от правильного подбора нужного катализатора. Открытие Циглером нового типа катализаторов произвело революцию в области производства полимеров.

Но каким же образом вещество, которое присутствует в реакционной смеси в столь ничтожных количествах, не только значительно ускоряет химическую реакцию, но и при этом не расходуется и даже не изменяется?

По правде говоря, существует тип катализаторов, которые претерпевают изменения в ходе реакции, но эти изменения обратимые, поэтому в реакционной смеси такие катализаторы всегда присутствуют в исходной форме. Поясню это на примере пятиокиси ванадия (V_2O_5), который катализирует переход двуокиси серы в трехокись. Пятиокись ванадия передает один из своих атомов кислорода на двуокись серы, SO_2 , переводя ее в SO_3 , при этом пятиокись ванадия переходит в окись (V_2O_4). Окись ванадия затем быстро окисляется кислородом воздуха до своего исходного состояния V_2O_5 . Таким образом, пятиокись ванадия выступает в роли посредника, поставляя атом кислорода двуокиси серы и тут же получая такой же атом кислорода из воздуха, этот кислород опять передается двуокиси серы и заменяется кислородом воздуха и т. д. Этот процесс протекает так быстро, что небольших количеств пятиокиси ванадия бывает достаточно для окисления больших количеств двуокиси серы. После того как реакция закончится, пятиокись ванадия сохранится неизменной ни в количестве, ни в качестве.

В 1902 году немецкий химик Георг Ланге высказал предположение, что подобным образом действуют все катализаторы. Однако в 1916 году Ирвин Лангмюр нашел объяснение каталитической активности веществ, которые подобно платине достаточно инертны, чтобы вступать в химические реакции. Лангмюр

предположил, что благодаря избытку валентных связей у платины кислород и водород связываются на поверхности металла. Вероятность образования воды из молекул кислорода и водорода, фиксированных на поверхности платины в непосредственной близости друг от друга, выше, чем у обычных свободных молекул газа. Молекулы воды по мере их образования вытесняются с поверхности платины молекулами водорода и кислорода.

Таким образом, циклический процесс связывания водорода и кислорода на металле, образования из них воды, затем связывания новых молекул водорода и кислорода и образования новых молекул воды может продолжаться бесконечно долго.

Это пример так называемого *поверхностного катализа*. Действительно, чем больше измельчен металл, тем больше площадь его поверхности при той же массе, тем более эффективно будет протекать катализ. С другой стороны, конечно же любое постороннее вещество, способное образовать прочные связи с платиной, будет снижать ее катализирующую активность.

Поверхностные катализаторы в большей или меньшей степени избирательны, или, как говорят, *специфичны*. Одни из них легко связывают на своей поверхности водород, поэтому они катализируют реакции, в которых участвует этот элемент, другие легко адсорбируют воду, и тогда они ускоряют реакции конденсации или гидролиза и т. д.

Свойство поверхностей связывать слои молекул (это свойство называется *адсорбция*) широко распространено, и его можно использовать не только для катализа. Так, например, двуокись кремния, изготовленная в виде пористых гранул (такая форма двуокиси кремния называется *силикагель*), способна адсорбировать большое количество воды. Обычно при упаковке электронного оборудования перед дальней транспортировкой, чтобы оно не пострадало от сырости, в тару кладут пакетики или мешочки с силикагелем, который, связывая на себе пары воды, действует как сиккатив (осушитель).

Мелко растолченный древесный уголь (его называют *активированный уголь*) легко адсорбирует органические молекулы, причем чем больше размеры такой молекулы, тем легче она связывается с углем. Активированный уголь можно использовать для обесцвечивания растворов, поскольку он адсорбирует окрашенные примеси (соединения, обладающие, как правило, большой молекулярной массой), оставляя в растворе нужное вещество (обычно бесцветное и с низкой молекулярной массой).

Активированный уголь также используют в противогазах. Такое применение угля предопределил английский врач Джон Стенхауз, который впервые изготовил угольный фильтр для воздуха еще в 1853 году. Кислород и азот воздуха проходят через фильтр неизмененными, а относительно крупные молекулы отравляющих газов адсорбируются на угле.

В органическом мире есть свои катализаторы. Безусловно, некоторые из них были известны людям на протяжении тысяч лет, только их никогда не называли катализаторами. Первыми примерами использования человеком катализаторов являются хлебопечение и виноделие.

Если муку смешать с водой и оставить тесто закрытым, так чтобы в него ничего снаружи не попало, то оно никогда не подойдет. Но стоит только добавить комочек дрожжей, и в тесте начнут появляться пузырьки, которые станут поднимать тесто, делать его более легким (английское слово «yeast», что означает «дрожжи», происходит, по всей вероятности, от санскритского слова, означающего «кипеть»).

Дрожжи также ускоряют превращение фруктового сока или зерна в спирт. В этом случае опять же превращение сопровождается образованием пузырьков — этот процесс называется *ферментация* (этот термин происходит от латинского слова, означающего опять же «кипение»).

Природа дрожжей была установлена только лишь в XVII веке. В 1680 году ван Левенгук впервые увидел клетки дрожжей. Ему удалось сделать это благодаря микроскопу — прибору, который произвел революцию в биологии того времени. Принцип действия микроскопа основывался на преломлении и фокусировании света линзами. Приборы, в которых использовались комбинации нескольких линз (сложные микроскопы), изобрел еще в 1590 году голландский мастер, изготовлявший очки, Заккарайес Янссен. Первые микроскопы в принципе можно было использовать, но их линзы были настолько несовершенно отшлифованы, что рассматриваемые объекты были видны как пятна с размытыми границами. Ван Левенгук отшлифовал маленькие, но зато безукоризненные линзы, которые давали четкое изображение объекта, увеличенное в 200 раз. Он использовал единичные линзы (*простой микроскоп*).

Со временем при создании микроскопов все чаще стали использовать комбинацию нескольких хороших линз (сложные микроскопы, по крайней мере потенциально, гораздо более сильные, чем простые), и ученые смогли все больше познавать микромир. Через полтора века после Левенгука французский физик Шарль Каньяр де ля Тур при помощи хорошего сложного микроскопа смог пронаблюдать процесс воспроизводства крохотных частичек дрожжей. Эти маленькие «пятнышки» оказались живыми! Позже, в 50-х годах XIX века, дрожжи стали объектом интенсивного изучения.

Французские производители вин били тревогу: вина при созревании часто прокисали до такой степени, что их невозможно было пить, виноделы терпели большие убытки, они недополучали миллионы франков. Проблему разрешил молодой декан научного факультета университета в Лилле, городе, расположенном

в самом сердце зоны виноградарства во Франции. Этим деканом был Луи Пастер, который уже прославился тем, что в лабораторных условиях смог разделить оптические изомеры веществ.

Пастер, изучая под микроскопом присутствующие в вине дрожжевые клетки, обнаружил, что они бывают разных типов. Все вина содержали клетки, вызывающие их ферментацию, но в винах, которые начали закисать, присутствовали и другие клетки. Пастеру показалось, что закисание вина начинается только после того, как заканчивается его брожение. И поскольку после окончания брожения потребность в дрожжах исчезает, почему бы их не удалять на этом этапе, предотвращая тем самым вредное воздействие второго типа дрожжевых клеток. Пастер предложил перепуганным виноделам умеренно прогревать вино после брожения для того, чтобы убить присутствующие в нем дрожжевые клетки. Вино, как заверил их Пастер, после этого будет созревать без закисания. Виноделы с большим недоверием отнеслись к столь «дилетантскому» предложению Пастера, но все-таки попробовали им воспользоваться. Результаты превзошли даже самые оптимистические ожидания: к восторгу виноделов, после тепловой обработки вино не закисало и, что самое главное, вкус его ничуть не ухудшился. Французское виноделие было спасено. Более того, процесс умеренного прогревания (*пастеризация*) позже применили для обработки молока, чтобы избавиться от присутствующих в нем микробов и предотвратить его скисание.

Помимо дрожжей есть и другие организмы, которые ускоряют процессы распада. Процесс, фактически аналогичный брожению, протекает в кишечнике. Первым, кто подошел к изучению пищеварения с научной точки зрения, был французский физик Рене Антуан Фершо де Реамюр. Свои эксперименты он проводил на соколе. В 1752 году Реамюр проделал следующий опыт: он вводил в глотку соколу маленькие металлические трубочки, в которых содержалось мясо, птица их проглатывала; трубочки полностью предохраняли мясо от механического измельчения, но в них были отверстия, закрытые сеточками, что позволяло содержимому подвергаться процессам химической переработки пищи, протекающим в желудке. Ученый обнаружил, что после того, как сокол срыгивал эти трубочки, мясо в них было частично растворено, к тому же в них содержалась желтоватая жидкость.

В 1777 году шотландский врач Эдвард Стивенс добыл жидкость из желудка (так называемый *желудочный сок*) и, отделив процесс распада пищи от непосредственного воздействия на нее живого организма — он поместил кусочек мяса в этот сок, — показал, что переваривание может протекать и вне желудка.

Было ясно, что в желудочном соке содержится нечто, что ускоряет разложение мяса. В 1834 году немецкий натуралист Теодор Шванн, добавив к желудочному соку хлорид ртути, получил белый осадок. После очистки осадка от соли ртути он растворил

его и обнаружил, что получил концентрированный желудочный сок. Шванн дал порошкообразному белому веществу, выпавшему в осадок, название *пепсин* (от греческого слова, означающего «переваривать»).

Тем временем французские химики Ансельм Пейан и Жан Франсуа Персоз обнаружили, что в экстракте солода содержится вещество, которое способно превращать крахмал в сахар гораздо быстрее, чем это делает кислота. Они выделили из солода это вещество и дали ему название *диастаза* (название происходит от греческого слова, означающего «отделять»).

В течение длительного времени химики делали четкое разделение между «живыми» ферментами, такими, как клетки дрожжей, и «неживыми», такими, как пепсин. В 1878 году немецкий физиолог Вильгельм Кюне предложил «неживым» ферментам дать название *энзимы* (от греческого слова, означающего «в дрожжах», поскольку по действию эти ферменты были похожи на вещества-катализаторы, содержащиеся в дрожжах). Тогда Кюне даже не подозревал, каким универсальным и распространенным окажется предложенный им термин.

В 1897 году немецкий химик Эдвард Бухнер, для того чтобы разрушить дрожжевые клетки, растер их вместе с песком и получил уже неживой материал — клеточный сок. Он обнаружил, что этот сок обладает такими же ферментативными свойствами, как и живые клетки дрожжей. Благодаря открытию Бухнера различие между ферментами, находящимися внутри клетки и вне ее, в один момент исчезло — оно было кажущимся. Это открытие пробило еще одну брешь в полумистической стене, которую возвели виталисты между живой и неживой материей. С того времени термины *энзим* и *фермент* стали синонимами. (Сегодня в странах Западной Европы и Америки чаще пользуются термином *энзим*, в России более распространен термин *фермент*. — *Примеч. пер.*)

За свое открытие Бухнер в 1907 году получил звание лауреата Нобелевской премии в области химии.

Теперь стало ясно, что ферменты — это те же катализаторы, только органической природы. Химики стали пробовать выделять ферменты, чтобы узнать химическую природу этих веществ. Вся трудность заключалась в том, что количество ферментов в экстрактах клеток или тканей очень мало и, кроме того, помимо ферментов в них содержится много других самых различных веществ, поэтому определить, какое из них является ферментом, а какое нет, — непростая задача.

Многие биохимики предполагали, что ферменты — это белки, поскольку их каталитические свойства легко свести на нет: как и белки, ферменты легко денатурировать обычным нагреванием. Но в 20-х годах XX века Рихард Вильштеттер сделал со-

общение о том, что он получил растворы некоторых очищенных ферментов, которые, по его мнению, не содержали белков, но обладали выраженной каталитической активностью. На основании своих наблюдений он сделал вывод, что ферменты — это не белки, а относительно простые соединения, которые белки могут использовать в качестве переносчиков. Большинство биохимиков того времени приняли теорию Вильштеттера, который был лауреатом Нобелевской премии и пользовался всеобщим уважением в ученом мире.

Однако сразу же, как была сформулирована эта теория, биохимик из Корнеллского университета Джеймс Бэтчелер Самнер выдвинул серьезные аргументы против нее. Он выделил из семян канавалии (тропического американского растения) кристаллическое вещество, которое в растворе обладало свойствами ферментов: оно катализировало распад мочевины до углекислого газа и аммиака, поэтому и было названо *уреаза*. Кристаллическое вещество, полученное Самнером, обладало характерными свойствами белка, и ученому не удавалось разделить его белковую и ферментную составляющие. Денатурация белка, вызванная различными способами, всегда лишала препарат ферментативной активности. Все это свидетельствовало о том, что Самнер получил фермент в чистом кристаллическом виде и что этот фермент является белком.

Репутация Вильштеттера как авторитетного ученого не давала какое-то время относиться к открытию Самнера серьезно, но в 1930 году химик из Рокфеллеровского института Джон Говард Нортроп и его коллеги пришли к аналогичному заключению: они кристаллизовали несколько ферментов, в том числе и пепсин, и доказали, что все они — вещества исключительно белковой природы. Нортроп показал, что полученные им кристаллы сохраняют каталитическую активность даже после разбавления их растворов до такой степени, когда определить в них содержание белка обычными химическими методами, используемыми Вальштеттером, становится уже невозможным.

Таким образом было доказано, что ферменты — это органические катализаторы *белковой природы*. Были кристаллизованы сотни ферментов, и все они, без исключения, были белками.

Достижение Самнера и Нортропа было отмечено Нобелевской премией, которую они поделили в 1946 году.

Ферменты замечательны тем, что они эффективные и специфические катализаторы. Существует фермент *каталаза*, который разлагает перекись водорода до кислорода и воды. Разложение перекиси водорода в растворе можно также катализировать железными опилками или двуокисью марганца. Но в количественном соотношении каталаза ускоряет разложение перекиси водорода в гораздо большей степени, чем это делают неорганические катализаторы. Каждая молекула каталазы при 0 градусов способ-

ствуется разрушению 44 000 молекул перекиси водорода в секунду. Отсюда можно сделать вывод: для выполнения каталитической функции достаточно незначительных количеств фермента.

Но по этой же причине достаточно малых количеств и других веществ, например ядов, способных при взаимодействии с ключевыми ферментами лишить их активности и тем самым вызвать смерть. Тяжелые металлы при введении их в виде солей — например, хлористая ртуть или нитрат бария — взаимодействуют с тиоловыми группами, которые принимают участие в работе многих ферментов. Другие вещества, такие, как цианистый калий или синильная кислота, при попадании в организм взаимодействуют своими цианогруппами ($-CN$) с атомами железа, которое входит в состав многих ключевых ферментов, и вызывают быструю смерть. (И надо надеяться, безболезненную. В некоторых западных штатах Америки при исполнении судебного приговора смертную казнь производят в газовых камерах, наполняя их цианистым водородом.)

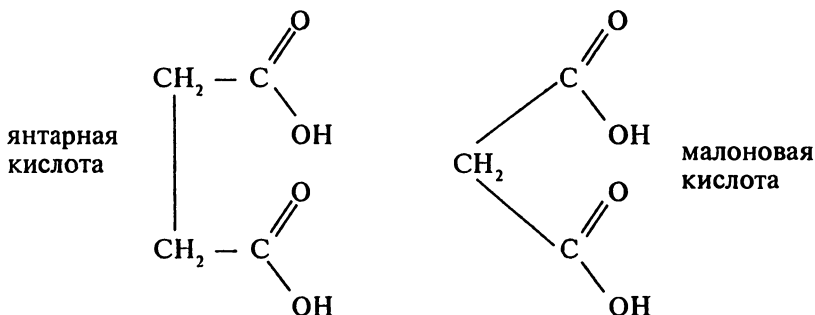
Оксид углерода (CO), или угарный газ, среди общих ядов является в некотором роде исключением. Она не взаимодействует первоначально с ферментами, а «садится» на молекулу гемоглобина (это тоже белок, хотя и не фермент), который переносит кислород от легких к клеткам. Связавшись с оксидом углерода, гемоглобин уже не может выполнять свою функцию, и это может привести к гибели организма. Для тех же животных, которые не используют гемоглобин для транспорта кислорода, оксид углерода безвредна.

Как я уже сказал, ферменты обладают высокой специфичностью, и *каталаза* хороший тому пример: она способствует разложению исключительно перекиси водорода, и ничего больше, тогда как неорганические катализаторы, такие, как упомянутые уже опилки железа или двуокись марганца, которые также разрушают перекись водорода, катализируют целый ряд других реакций.

Какова причина высокой специфичности ферментов? На этот вопрос отвечают теории Ланге и Лангмюра, которые рассматривают катализатор в качестве посредника при взаимодействии двух веществ. Предположим, что фермент связывается на какое-то время с *субстратом* (так называют исходное вещество, которое вступает в ферментативную реакцию). Для осуществления такого взаимодействия очень важную роль может играть форма, или *конформация*, молекулы конкретного фермента. Ведь поверхность у разных молекул ферментов может быть не одинаковая, поскольку у разных белков боковые группы, отходящие в стороны от основной полипептидной цепи, — разные. Одни из этих групп имеют положительный заряд, другие — отрицательный, третьи не несут никакого заряда вообще, они электронейтральные. Можно предположить, что поверхность каждого фермента соответствует форме молекулы только определенного субстрата, так же как к

каждому замку подходит только определенный ключ. В таком случае каждый фермент будет легко соединяться с этим субстратом, с другими же веществами связываться ему будет сложнее или же вообще невозможно. Этим и объясняется специфичность ферментов: поверхность каждого из них приспособлена для соединения только с определенным субстратом. Поэтому нет ничего удивительного в том, что белки построены из такого большого числа различных блоков (аминокислот) и что живые ткани конструируют белки в большом разнообразии.

Со временем эта точка зрения на специфичность действия ферментов нашла новые подтверждения. Было обнаружено, что вещества, структура которых похожа на структуру субстрата, при внесении их в реакционную смесь вместе с субстратом значительно снижают скорость ферментативной реакции, то есть являются *ингибиторами* фермента. Примером сказанного может служить фермент *сукцинатдегидрогеназа*, которая катализирует отщепление от молекулы янтарной кислоты двух атомов водорода (соли янтарной кислоты называют *сукцинатами*. — *Примеч. пер.*). В присутствии малоновой кислоты эта реакция не идет. Как можете убедиться сами, структуры янтарной и малоновой кислот схожи:



Различие между двумя молекулами, как видите сами, заключается только в том, что в одной из них (в янтарной кислоте) карбоксильные группы ($-\text{COOH}$) разделяются двумя CH_2 -группами, а в другой (малоновой) — одной. По-видимому, малоновая кислота в силу структурной схожести с янтарной сама взаимодействует с поверхностью фермента и занимает на ней центр, предназначенный для связывания с янтарной кислотой (*конкурирует* с янтарной кислотой), чем препятствует ее соединению с ферментом и соответственно сводит его катализирующее действие на нет. Таким образом, малоновая кислота, если говорить о функции фермента, «портит» его, или, если использовать научный термин, *ингибирует* фермент, а способ, которым она это делает, называется *конкурентное ингибирование*.

Наиболее важные доказательства, свидетельствующие в пользу образования комплекса между ферментом и субстратом, можно получить из спектрографического анализа. Если фермент соединяется с субстратом, то должно произойти изменение спектра поглощения света: спектр поглощения комплекса должен отличаться от суммы спектров поглощения компонентов этого комплекса. В 1936 году британские биохимики Дэвид Кейлин и Тедис Манн обнаружили, что цвет раствора фермента *пероксидазы* изменяется после добавления к раствору перекиси водорода, субстрата для этого фермента. Американский биофизик Бриттон Чанспровес, проведя спектральный анализ, обнаружил, что изменение спектра происходит последовательно, в два этапа. Он соотнес первый этап образованию фермент-субстратного комплекса, а второй — его распаду и завершению реакции. В 1964 году японский биохимик Каньо Йаги выделил фермент-субстратный комплекс, образованный ферментом *оксидазой D-аминокислот* и его субстратом аланином.

После этого перед исследователями встал вопрос: участвует ли в катализе молекула фермента целиком или только какая-то ее часть? Этот вопрос очень важен не только с теоретической, но и с практической точки зрения. Дело в том, что ферменты сегодня широко используются в промышленности, они нужны для производства лекарств, лимонной кислоты и многих других химических веществ. Если для проведения каталитической реакции нет нужды в присутствии целой молекулы фермента и можно обойтись лишь ее фрагментом, который целиком выполнит функцию всей молекулы, не проще ли синтезировать только этот фрагмент, и тогда промышленность не будет нуждаться в живых клетках: дрожжах, плесневых грибах, бактериях.

В экспериментальных попытках найти ответ на этот вопрос были получены некоторые многообещающие результаты. Так, например, Нортроп обнаружил, что введение нескольких ацетильных групп (CH_3CO) в боковую группу аминокислоты тирозина в молекуле пепсина приводит к частичной потере активности фермента, тогда как введение тех же ацетильных групп в боковую группу лизина не приводит к изменению активности фермента. Таким образом, можно было сделать вывод, что тирозин принимает участие в работе фермента, а лизин, скорее всего, нет. Этот результат стал первым свидетельством того, что в молекуле фермента есть участки, не являющиеся необходимыми для проявления его активности.

Впоследствии более точно обнаружили *активные центры* другого пищеварительного фермента. Этим ферментом был *химотрипсин*, который секретируется поджелудочной железой в виде неактивного предшественника, называемого *трипсиноген*. Неактивная молекула трипсиногена превращается в активный химотрипсин путем разрыва одной пептидной связи (в этом процессе участвует пище-

варительный фермент трипсин). Создалось впечатление, что появление определенной аминокислоты на конце молекулы химотрипсина сделало его активным. Вскоре выяснилось, что присоединение к химотрипсину молекулы диизопропилфторфосфата (ДФФ) лишает его ферментативных свойств. Можно было предположить, что ДФФ связывается с какой-то ключевой аминокислотой, которая и определяет ферментативную активность химотрипсина. Этой аминокислотой был серин. Как выяснилось впоследствии, ДФФ связывался с остатками серина и в других пищеварительных ферментах, и во всех случаях серин находился в одном и том же фрагменте молекул — участке, состоящем из четырех аминокислот: глицин-аспарагиновая кислота-серин-глицин.

Но, как оказалось впоследствии, тетрапептид, состоящий только из этих четырех аминокислот, не обладает каталитической активностью. Следовательно, остальная часть молекулы фермента каким-то образом также принимает участие в катализе. Эти четыре аминокислоты — *активный центр* фермента — можно сравнить с рабочей частью ножа — его лезвием, которым нельзя воспользоваться до тех пор, пока к нему не будет приделана вспомогательная часть — рукоятка.

Для работы фермента только активного центра — «острия ножа» — недостаточно, нужно, чтобы активный центр был встроен в полипептидную цепь. Рассмотрим фермент *рибонуклеазу*. Сейчас, когда известна последовательность всех 124 аминокислот, из которых состоит рибонуклеаза, можно целенаправленно заменить каждую из них на какую-либо другую и проследить затем, как каждая из замен скажется на активности фермента. Было установлено, что для проявления активности рибонуклеазы особенно важными являются три аминокислоты, которые расположены в полипептидной цепи достаточно далеко друг от друга. Это гистидин в 12-м, лизин в 41-м и гистидин в 119-м положениях.

Однако подобная отдаленность аминокислот является кажущейся, поскольку она проявляется только в случае, когда полипептидная цепь растянута. В действительности цепь свернута в клубок, и стабильность трехмерной структуры белка обеспечивается четырьмя молекулами цистина, которые скрепляют петли между собой. При таком строении молекулы три вышеупомянутых аминокислоты находятся рядом и объединяются в единую структуру — активный центр.

Более специфический активный центр обнаружен у *лизоцима*, широко распространенного фермента, обнаруживаемого, например, в слезах или слизи, выделяющейся из носа. Этот фермент осуществляет разрушение бактериальных клеток, катализируя разрыв основных связей в некоторых веществах, из которых построена оболочка бактериальной клетки. При действии лизоцима оболочка бактериальной клетки будто трескается и содержимое клетки выходит наружу.

Лизоцим стал первым ферментом, для которого была установлена трехмерная структура (это произошло в 1965 году). Установление трехмерной структуры этого фермента позволило показать, что молекулы, из которых построена оболочка бактериальной клетки и на которые направлено действие лизоцима, тесно встраиваются в полость на поверхности фермента. Основная связь молекул оболочки бактериальной клетки, как было установлено, встраивается между атомом кислорода боковой группы глутаминовой кислоты (положение 35) и вторым атомом кислорода боковой группы аспарагиновой кислоты (положение 52). Вследствие того, что полипептидная цепь лизоцима образует складку, эти две аминокислоты находятся рядом, но расстояние между ними достаточно большое, чтобы в него вошла молекула бактериальной оболочки. В таких условиях легко проходит химическая реакция, необходимая для разрушения этой молекулы, поэтому лизоцим можно рассматривать как фермент, предназначение которого — выполнять специфическую функцию лизиса оболочки бактериальной клетки.

В некоторых ферментах активный центр представлен даже не сочетанием аминокислот, а совершенно различными по природе комбинациями атомов. О таких случаях будет сказано позже.

Совершенно ясно, что мы не можем изменять режущее лезвие — активный центр фермента, но можем ли мы изменить рукоятку инструмента так, чтобы он не стал хуже? Существование нескольких разновидностей такого белка, как, например, инсулин, позволяет предположить, что да, можем. Инсулин не фермент, это гормон, но функция его высокоспецифична. Один из фрагментов А-цепи инсулина представлен последовательностью трех аминокислот, которая отличается у различных животных: у кошек это аланин-серин-валин, у свиней — треонин-серин-изолейцин, у овец — аланин-глицин-валин, у лошадей — треонин-глицин-изолейцин и т. д. Несмотря на такое различие, каждый из этих инсулинов может быть заменен на любой другой, при этом функция его сохранится.

Более того, от некоторых белковых молекул можно «отрезать» целые куски, и они не потеряют своей активности (так можно укоротить рукоятку у ножа или топорике у топора, после чего они останутся такими же острыми). Примером такого белка может служить *аденокортикотропный гормон* (АКТГ). Это пептид, состоящий из 39 аминокислот, последовательность которых полностью установлена. С С-конца пептида можно убрать до 15 аминокислот, и гормон при этом не потеряет активности. Но стоит только убрать хотя бы одну или две аминокислоты с N-конца пептида, как гормон тут же становится неактивным.

Подобные эксперименты проводили и с ферментом, имеющим название *папаин* (его получают из плодов или сока папайи, или дынного дерева). Молекула папаина состоит из 180 аминокислот,

по своим свойствам этот фермент похож на пепсин. Удаление 80 аминокислот с N-конца молекулы папаина не снижает его ферментативной активности.

Все вышесказанное позволяет предположить, что молекулы ферментов можно упростить до такой степени, что их можно будет синтезировать искусственно. И тогда синтетические ферменты для самых разных целей можно будет получать в виде довольно простых органических соединений. И в органической химии возникнет новое направление — *химическая миниатюризация*.

Метаболизм

Человеческий организм — это целый химический комбинат, в котором каждую секунду протекают самые разнообразные химические процессы. Человек дышит кислородом и пьет воду. Он потребляет углеводы, жиры, белки, минералы и другое сырье. В то же время он освобождается от отходов: непереваренных остатков пищи, бактерий и продуктов гниения, образующихся в процессе жизнедеятельности кишечных бактерий. Через легкие человек выбрасывает в атмосферу углекислый газ, через те же легкие и потовые железы освобождается от воды; он выделяет мочу, в которой в растворенном виде содержатся многие «отходы производства», главным из которых является мочевина. Вся совокупность химических реакций, протекающих внутри нас, и составляет *метаболизм* человеческого организма.

Если внимательно проследить, какое сырье потребляет наш организм и каковы отходы при переработке этого сырья, то можно сделать выводы относительно того, какие все-таки процессы протекают в организме. Например, поскольку известно, что основным поставщиком азота для организма являются белки, то мочевина (NH_2CONH_2), в которой также содержится азот, должна быть продуктом метаболизма белков. Но для того, чтобы белку превратиться в мочевины, ему следует пройти сложный, длинный и извилистый путь. Каждый фермент в организме катализирует только одну специфическую реакцию, вследствие которой изменяя свое положение, перегруппировываются, всего лишь два или три атома. Все более существенные изменения, происходящие с молекулами, протекают в несколько стадий, каждую из которых осуществляет свой фермент. Даже такой относительно простой организм, как организм крошечной бактерии, в своей жизнедеятельности использует тысячи различных ферментов, которые обеспечивают протекание многих тысяч реакций.

Все это может показаться излишне сложным, но такова истинная суть жизни. Многообразие сложных реакций в организме можно контролировать, увеличивая или уменьшая продукцию соответствующих ферментов. Ферменты осуществляют контроль

над протекающими в организме химическими процессами так же, как и пальцы музыканта на деке скрипки своими точными и замысловатыми движениями определяют сочетание звуков, издаваемых инструментом, и без этой сложности в работе организм не смог бы выполнять большое разнообразие функций.

Проследить в организме направление мириад реакций, являющихся элементами метаболизма, — означает понять основной принцип жизни. Попытка понять его основательно, найти смысл в переплетении бесчисленного множества реакций, протекающих одновременно, может на первый взгляд показаться делом безнадежным. Но, как оказывается, это дело хотя и трудное, но все же выполнимое.

Начало изучения метаболизма было весьма скромным: исследователи попытались установить, как дрожжевые клетки превращают сахар в этиловый спирт. В 1905 году два британских химика Артур Харден и У.Дж. Янг предположили, что в этом процессе принимают участие сахара, несущие на себе фосфатные группы. Они первыми обратили внимание на то, что фосфор играет важную роль в метаболизме (с той поры фосфор стал все чаще и чаще становиться объектом исследований биохимиков). Харден и Янг даже обнаружили в живых тканях эфир сахара и фосфорной кислоты: это была фруктоза с присоединенными к ней двумя фосфатными группами (PO_3H_2) — *фруктозодифосфат* (его до сих пор называют иногда эфиром Хардена—Янга). Фруктозодифосфат стал первым промежуточным метаболическим продуктом, который обнаружили исследователи, первым промежуточным соединением, которое ежесекундно образуется в организме при превращении одного вещества в другое. Таким образом, Харден и Янг стали основателями нового раздела биохимии — *промежуточного обмена*, который занимается природой подобных промежуточных продуктов и реакций, вследствие которых они образуются. За это исследование, а также за изучение ферментов, принимающих участие в превращении сахара в спирт (см. главу 14), в 1929 году Харден был удостоен Нобелевской премии в области химии.

Превращение одного вещества в другое, как оказалось, могут выполнять не только дрожжевые клетки. В 1918 году немецкий химик Отто Фриц Мейергоф показал, что подобное расщепление сахара осуществляют и клетки организмов животных, например клетки скелетных мышц. Только, в отличие от дрожжей, мышечные клетки не настолько глубоко расщепляют сахар при его метаболизме. Если дрожжи превращают шестиуглеродную молекулу глюкозы в этиловый спирт ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$), состоящий всего лишь из двух атомов углерода, то в скелетных мышцах глюкоза переходит в молочную кислоту, более сложное по сравнению с этиловым спиртом соединение, состоящее из трех атомов углерода ($\text{C}_3\text{H}_7\text{O}_6$).

Работы Мейергофа впервые продемонстрировали основной принцип метаболизма, который впоследствии находил все боль-

ше и больше подтверждений: во всех живых организмах, как простых, так и сложных, метаболизм протекает, за исключением незначительных отличий, одинаково. За изучение образования молочной кислоты в скелетных мышцах в 1922 году Мейергоф и английский физиолог Арчибальд Вивьен Хилл поделили Нобелевскую премию по физиологии и медицине. Хилл изучал мышцу с точки зрения образования в ней тепла и пришел к выводам, аналогичным выводам Мейергофа, занимавшегося химией превращения сахара.

Нюансы отдельных этапов на пути превращения сахара в молочную кислоту постепенно выяснили в 1937—1941 годах Карл Фердинанд Кори и его жена, Герти Тереза Кори, работавшие в Вашингтонском университете в Сент-Луисе. Используя экстракты тканей и очищенные ферменты, они выяснили, какие изменения претерпевают различные фосфорные эфиры сахаров, и затем, как детскую составную картинку, сложили все стадии этого процесса в единое целое. Схема метаболических превращений сахаров, которую они составили, правомерна и поныне (правда, в нее внесены незначительные уточнения). За эту работу супруги Кори в 1947 году были удостоены Нобелевской премии в области физиологии и медицины.

При превращении глюкозы в молочную кислоту высвобождается некоторое количество энергии, которая утилизируется клеткой. Эта энергия обеспечивает жизнедеятельность дрожжевых клеток при переваривании ими сахаров. В некоторых случаях, когда это необходимо, эта энергия обеспечивает и функционирование клеток скелетной мышцы. Существенным является то, что для образования энергии, образующейся при распаде сахара, не требуется кислорода воздуха. Благодаря этому мышца способна работать даже в условиях, когда она затрачивает больше энергии, чем ее (энергии) образуется вследствие реакций, протекающих в присутствии кислорода, доставляемого относительно медленным током крови. Однако по мере накопления молочной кислоты мышца «устает», и ей требуется время для отдыха — время, необходимое для распада молочной кислоты, происходящего при участии кислорода.

Однако тут же возникают вопросы: в каком виде энергия, образующаяся при переходе сахара в молочную кислоту, поставляется клетке и каким образом клетка использует ее?

Американский химик, выходец из Германии, Фриц Алберт Липман, начав в 1941 году свои исследования, нашел ответы на эти вопросы. Он обнаружил, что некоторые фосфорсодержащие вещества, образующиеся при метаболизме углеводов, заключают в себе чрезвычайно большое количество энергии, которая существует в виде энергии химической связи, соединяющей фосфатную группу с остальной частью молекулы. Эта высокоэнергетическая фосфатная связь локализуется в молекулах носителей

энергии, содержащихся в каждой клетке. Более всего из таких носителей известен *аденозинтрифосфат (АТФ)*. Молекулы АТФ и некоторых подобных соединений являются как бы денежными единицами энергии организма: они хранят энергию в удобных для расчета купюрах, а купюры, в свою очередь, упакованы в удобные для проведения сделок пачки. Высвобождающаяся при гидролизе фосфатной связи энергия может превратиться в химическую энергию, необходимую для синтеза белка из аминокислот, или в электрическую энергию передачи нервного импульса, или в кинетическую энергию сокращающейся мышцы и т. д. Несмотря на то что количество АТФ в клетке в каждый конкретный момент времени невелико, оно всегда бывает достаточным: в живом организме по мере расходования АТФ тут же образуются новые молекулы этого вещества.

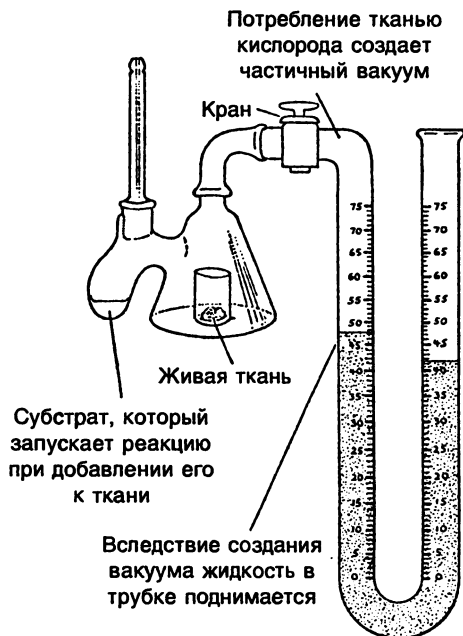
Открытие Липмана было высоко оценено: в 1953 году он стал лауреатом Нобелевской премии по физиологии и медицине.

В отличие от дрожжей организм млекопитающих не способен превращать молочную кислоту в этиловый спирт, он использует обходной путь метаболизма и разлагает молочную кислоту на углекислый газ (CO_2) и воду, минуя стадию образования спирта. Осуществляя такое превращение, он использует кислород, при этом образуется гораздо больше энергии, чем при протекающем в отсутствие кислорода (*анаэробном*) превращении глюкозы в молочную кислоту.

Факт потребления в процессе метаболизма кислорода обусловил и новые подходы к изучению метаболических превращений веществ. Допустим, что на определенной стадии метаболизма в качестве промежуточного продукта образовалась янтарная кислота. Можно добавить ее затем к живой ткани (или, что в большинстве случаев оказывается более удобным, просто смешать ее с ферментом) и определить, как изменится при этом потребление кислорода.

Немецкий биохимик Отто Генрих Варбург разработал устройство, позволяющее определять скорость потребления кислорода, которое получило название *манометр Варбурга*. Манометр Варбурга состоит из небольшой колбы (в которой смешивают ткань или фермент с субстратом), соединенной с одним из концов U-образной трубки, второй конец которой остается открытым. Нижняя часть трубки заполняется окрашенной жидкостью. По мере потребления кислорода из воздуха, находящегося в колбе, в ней создается небольшой вакуум, вследствие чего окрашенная жидкость в той половине трубки, которая соединена с колбой, будет подниматься. Скорость, с которой будет подниматься жидкость, и будет характеризовать скорость потребления кислорода.

Эксперименты Варбурга по определению потребления кислорода тканями позволили получить ему в 1931 году Нобелевскую премию в области физиологии и медицины.



Манометр Варбурга

Варбург и другой немецкий биохимик, Генрих Виланд, выяснили, какие реакции приводят к выделению энергии при распаде молочной кислоты. Они установили, что в результате нескольких реакций молекулы промежуточных соединений лишаются двух атомов водорода, и в этом процессе задействованы ферменты, так называемые *дегидрогеназы*. Эти два атома водорода впоследствии соединяются с кислородом, такая реакция протекает на ферментах, называемых *цитохромы*. В конце 20-х годов XX века Варбург и Виланд основательно поспорили: которая из этих двух реакций более важная? Варбург утверждал, что более важной является реакция соединения водорода с кислородом, тогда как Виланд считал, что главное — это отщепление водорода. Со временем Дэвид Кейлин разрешил их спор, показав, что в метаболизме одинаково важны оба этих процесса.

Немецкий биохимик Ганс Адольф Кребс продолжил изучение промежуточных продуктов, образующихся при преобразовании молочной кислоты в углекислый газ и воду, и установил последовательность реакций этого процесса. Эта последовательность до сего дня так и называется — *цикл Кребса*, или *цикл лимонной кислоты* (лимонная кислота является главным продуктом, образующимся в результате этих реакций). Работа Кребса, завершенная в 1940 году, была удостоена Нобелевской премии в области фи-

зиологии и медицины. Эту премию в 1953 году Кребс разделил с Липманом.

В организмах, потребляющих в процессе дыхания молекулярный кислород (а это все живые организмы, за исключением некоторых разновидностей анаэробных бактерий, которые продуцируют энергию вследствие реакций, протекающих в отсутствие кислорода), в результате цикла Кребса образуется львиная доля энергии. Проходя цикл Кребса, соединение на каждом этапе цикла теряет два атома водорода, которые со временем, соединяясь с кислородом, образуют воду. Однако за этим «со временем» кроется много нюансов. Два атома водорода несколько раз переходят с одного цитохрома на другой, пока, в конце концов, последний из цитохромов, называемый *цитохромоксидаза*, переправляет их на молекулярный кислород. И на всем пути, по мере прохождения цитохромов, образуются молекулы АТФ, в виде которых организм получает эти своеобразные химические «денежные единицы» энергии. В общей сложности при прохождении цикла Кребса образуется 18 молекул АТФ. Однако на каком этапе образуются эти молекулы и как это происходит — до сих пор точно неизвестно. Весь процесс, в ходе которого происходит синтез АТФ, называется *окислительное фосфорилирование*: «окислительное» — поскольку в нем участвует кислород и «фосфорилирование» — поскольку результатом этого процесса является накопление фосфатных групп. Окислительное фосфорилирование — это один из главных процессов, протекающих в живых тканях. Любое серьезное вмешательство в него (например, воздействие цианистого калия) приводит к неминуемой гибели организма, наступающей буквально через считанные минуты.

Все вещества и все ферменты, принимающие участие в окислительном фосфорилировании, содержатся в клетке в крошечных гранулах, расположенных в цитоплазме. Эти включения впервые обнаружил в 1898 году немецкий биолог Бенда, который конечно же в то время не понимал, какую роль играют эти гранулы в жизнедеятельности клетки и организма в целом. Он ошибочно считал, что эти образования состоят из хряща, поэтому и дал им название *митохондрии*, которое сохранилось и поныне.

Обычная митохондрия похожа на вытянутый бейсбольный мяч длиной примерно 0,0025 мм и толщиной 0,001 мм. В различных клетках содержится от нескольких сотен до нескольких тысяч митохондрий. Крупная клетка может содержать 2000 митохондрий, а в анаэробных бактериях их вообще нет. Электронно-микроскопические исследования, проведенные в 50-х годах XX столетия, показали, что митохондрии, несмотря на их маленькие размеры, имеют сложную внутреннюю структуру. Они окружены двухслойной мембраной; наружная поверхность мембраны гладкая, а внутренняя имеет складчатое строение, что существенно увеличивает ее площадь. На внутренней поверхности расположе-

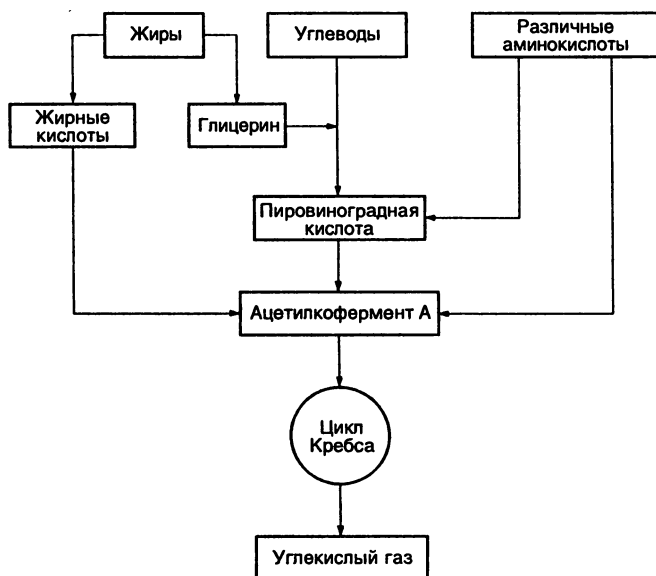
ны тысячи мелких образований, называемых *элементарными частицами*. Вероятнее всего, они и являются местами, где происходит окислительное фосфорилирование.

Решая проблемы метаболизма углеводов, биохимики не оставляли без внимания метаболизм жиров, и также достигли в этом вопросе значительного прогресса. Было известно, что в основе молекул жиров лежат цепи, построенные из атомов углерода. Ученые знали, что при гидролизе жиров образуются жирные кислоты, состоящие чаще всего из 16 или 18 атомов углерода, и что при гидролизе от молекулы отщепляются фрагменты, состоящие из двух углеродных атомов. В 1947 году Фриц Липман открыл довольно сложное соединение, которое принимает участие в реакции *ацетилирования* — переносе двууглеродного фрагмента от одного соединения к другому. Липман дал этому соединению название *кофермент А* (буква «А» означает ацетилирование). Три года спустя немецкий биохимик Теодор фон Линен обнаружил, что кофермент А принимает непосредственное участие в распаде жиров. Кофермент А присоединяется к одному из концов жирной кислоты, после чего следует четырехстадийный процесс, результатом которого является отщепление двух атомов углерода от того конца, к которому присоединился кофермент А. Затем к остатку молекулы жирной кислоты присоединяется вторая молекула кофермента А, вследствие чего от жирной кислоты отщепляются еще два атома углерода, и т. д. Этот процесс получил название *цикл окисления жирных кислот*. За открытие этого цикла фон Линен в 1964 году стал солауреатом Нобелевской премии в области физиологии и медицины.

Метаболизм белков, естественно, протекает сложнее, чем метаболизм жиров или углеводов, ведь в состав белков входит около 20 аминокислот. Правда, иногда метаболическое превращение белков происходит довольно просто: одно небольшое изменение в молекуле аминокислоты приводит к образованию соединения, которое может вступить в цикл Кребса (двууглеродные фрагменты молекул жирных кислот также могут вступать в этот цикл), но в целом распад аминокислот — это довольно сложный процесс.

Но вернемся к вопросу, который мы задали ранее: как белки превращаются в мочевины?

Это превращение происходит следующим путем. Группа атомов, образующая основу молекулы мочевины, является фрагментом боковой группы аминокислоты аргинина. Этот фрагмент может быть удален при помощи фермента, называемого *аргиназа*. Остаток молекулы аргинина также является аминокислотой, у которой есть свое название — *орнитин*. В 1932 году Кребс и К. Генселейт при изучении образования мочевины в ткани печени крысы обнаружили, что добавление к ткани аргинина резко ускоряет образование в ней мочевины. Удивительным было то, что мочевины образовывалось гораздо больше, чем ее могло бы образоваться из того количества аргинина, которое добавляли к ткани. Исходя из этого факта,



Общая схема метаболизма углеводов, жиров и белков

Кребс и Генселейт сделали вывод, что аргинин в данном случае действует не как субстрат, из которого образуется мочевины, а как агент, который способствует ее образованию, себя при этом не расходуя. Другими словами, после отщепления аргиназой от аргинина фрагмента, являющегося основой молекулы мочевины, образовавшийся орнитин сажает на себя аминокислоты, которые он отбирает у других аминокислот (плюс углекислый газ, которого в организме образуется достаточное количество), и переходит обратно в аргинин. Таким образом, молекула аргинина расщепляется, затем восстанавливается, затем расщепляется обратно, после чего снова восстанавливается и т. д., и при каждом расщеплении образуется молекула мочевины. Этот цикл называется *цикл мочевины*, или *орнитиновый цикл*, или *цикл Кребса—Генселейта*.

После удаления из молекул аминокислот азота посредством вступления их в орнитиновый цикл оставшиеся от аминокислот «углеродные скелеты» расщепляются различными путями до углекислого газа и воды, при этом высвобождается энергия.

Меченые атомы

Ученые, занимавшиеся исследованием метаболизма, согласно приведенным выше схемам, находились, так сказать, в позиции сторонних наблюдателей. Они могли описывать циклы в целом,

но для того, чтобы выяснить, что на самом деле происходит в живом организме с конкретной молекулой или с конкретной ее частью, им необходимо было эту молекулу (или ее часть) как-то пометить, только после этого можно было проследить ее судьбу. В действительности способ, позволяющий это сделать, был открыт еще в начале XX века, но химики почему-то не торопились воспользоваться им в полной мере.

Первооткрывателем в области мечения молекул был немецкий биохимик Франц Кноп. В 1904 году у него возникла идея добавить собаке в корм меченые молекулы жиров и посмотреть затем, что с этими молекулами произойдет. Кноп пометил молекулы жиров, присоединив к одному из их концов в качестве метки бензольное кольцо; бензольное кольцо он выбрал потому, что в клетках млекопитающих нет ферментов, которые были бы способны его разрушить. Ученый полагал, что по появившемуся в моче соединению, связанному с бензольным кольцом, можно будет судить о тех изменениях, которые претерпела молекула жира в организме. И он оказался прав. Бензольное кольцо неизменно появлялось в моче соединенным с двууглеродной цепочкой, на основании чего Кноп сделал вывод, что при распаде жиров в организме от них всегда отщепляется фрагмент, состоящий из двух атомов углерода. (Как вы уже знаете, к такому же выводу более 40 лет спустя пришел Линен, проведя серию работ с коферментом А.)

Как правило, в жирах углеродные цепи состоят из четного количества атомов углерода. Но что будет, если использовать жир, содержащий нечетное количество углеродных атомов? В этом случае, поскольку атомы отщепляются по два, после полного расщепления молекулы должен остаться один атом углерода, соединенный с бензольным кольцом. Кноп добавил в корм собакам такой жир и в действительности получил ожидаемый результат.

Кноп первым применил метку в биохимических исследованиях. В 1913 году работавшие вместе венгр Георг фон Хевеши и немец Фридрих Адольф Панет, оба химики, нашли другой способ мечения молекул: в качестве «ярлыка» они использовали радиоактивные изотопы. Они начали с радиоактивного свинца, и целью их первого биохимического эксперимента явилось выяснение, сколько свинца (в виде раствора его соли) может поглотить растение. Дело в том, что растение поглощает слишком малое количество свинца — такое, что его нельзя было определить существовавшими в то время методами химического анализа. Но при использовании радиоактивного свинца определить его количество не составляло труда — для этого необходимо было всего лишь измерить радиоактивность исследуемого материала. Хевеши и Панет поливали раствором соли радиоактивного свинца растения, через определенные промежутки времени сжигали части их и определяли радиоактивность золы. Таким образом им удалось

определить, с какой скоростью свинец поглощается растительными клетками.

Но и свинец и бензол являются слишком «нефизиологическими» веществами для того, чтобы использовать их в качестве меток. Они легко могут нарушить нормальные химические процессы, протекающие в живых клетках. Было бы лучше использовать меченые атомы, которые действительно принимают участие в метаболических превращениях веществ, происходящих в организме, такие, как атомы кислорода, азота, углерода, водорода, фосфора.

В 1934 году Жюлио Кюри продемонстрировал феномен искусственной радиоактивности. Хевеши сразу же воспользовался открытием Кюри и начал использовать в своих экспериментах фосфаты, содержащие радиоактивный фосфор. Именно с помощью их он и исследовал поглощение фосфатов растениями. К сожалению, радиоизотопы некоторых важных для живого организма элементов нельзя было использовать из-за того, что они слишком недолго существовали: период их полураспада составлял в лучшем случае всего лишь несколько минут. Но у самых основных элементов стабильные изотопы есть — это углерод-13, азот-15, кислород-18 и водород-2, которые можно использовать в качестве меток. В природе они присутствуют в очень малых количествах (около 1 процента от общего содержания элемента или даже меньше), но в результате обогащения природного элемента, например водорода, его изотопом водородом-2 можно пометить водородосодержащие соединения и ввести их в организм. Наличие тяжелого водорода в любом продукте обмена можно определить с помощью масс-спектрографа, который разделяет вещества согласно их молекулярным массам. Таким образом, можно проследить судьбу меченого водорода в организме.

Водород и в действительности стал первым атомом, который использовали в качестве физиологической метки. Это стало возможным после того, как Гарольд Юри в 1931 году получил водород-2 (*дейтерий*, или *тяжелый водород*). Первым, что ученые выяснили, применив дейтерий в качестве метки, явилось то, что атомы водорода гораздо менее прочно связаны с молекулами, чем предполагалось раньше. Оказалось, что они снуют туда-сюда от молекулы одного вещества к молекуле другого, меняясь местами, то есть молекулы сахаров, воды и других водородсодержащих веществ постоянно обмениваются атомами водорода. Поскольку обычные атомы водорода не отличаются один от другого, прежде такой обмен обнаружить было нельзя. Но когда появился дейтерий, ученые смогли сделать это. Они выяснили, что атомы водорода буквально «бегают» по всему организму, поэтому если ввести животному дейтерий, соединенный с кислородом (тяжелую воду), то вскоре тяжелый водород распространится по всему организму и включится в состав самых разных соединений, незави-

симо от того, вступала ли тяжелая вода в химическую реакцию с ними или нет. Поэтому исследователю трудно различить, является ли наличие тяжелого водорода в соединении результатом химической реакции, катализируемой определенным ферментом, или же следствием обычного водородно-дейтериевого обмена. Однако не все атомы водорода в молекулах могут легко обмениваться. Соединение атомов водорода и углерода является прочным, поэтому связь дейтерия с углеродными цепями является результатом исключительно метаболических реакций.

На свойство атомов блуждать от молекулы к молекуле повторно обратили внимание в 1937 году, когда американский биохимик, выходец из Германии, Рудольф Шенхаймер со своими ассистентами стали использовать в экспериментах азот-15. Они скармливали крысам аминокислоты, меченные по азоту-15, после чего через различные промежутки времени забивали животных и проводили анализ тканей на соединения, содержащие метку. К своему удивлению, они обнаружили, что и атомы азота способны странствовать по организму: достаточно было ввести животному одну аминокислоту, содержащую азот-15, как вскоре метка обнаруживалась почти во всех аминокислотах. В 1942 году Шенхаймер опубликовал книгу, озаглавленную «Динамическое состояние компонентов организма». В ее названии был отражен новый взгляд биохимиков на суть происходящих в организме изменений веществ. Благодаря меченым атомам было выяснено, что помимо действительно химической трансформации соединений между молекулами постоянно и непрерывно происходит обмен одинаковыми атомами.

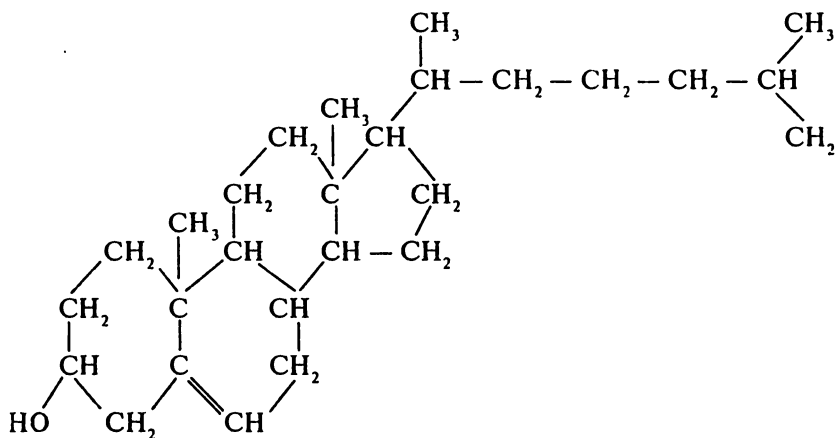
Использование меченых атомов все больше и больше проясняло детали метаболических превращений веществ. Оно подтвердило правильность представлений о метаболизме сахаров, цикле лимонной кислоты, цикле Кребса—Генселяйта. С помощью них были установлены новые промежуточные продукты, открыты неизвестные ранее альтернативные пути обмена.

После Второй мировой войны благодаря ядерным реакторам было получено более 100 различных радиоактивных изотопов, и тогда создание меченых молекул значительно интенсифицировалось. Стало возможным из обычных веществ получать меченые, для этого нужно было в реакторе произвести их бомбардировку нейтронами. Почти каждая биохимическая лаборатория, не только в Соединенных Штатах, но и во всем мире, начала разрабатывать исследовательские программы с использованием радиоактивных меток.

Семейство стабильных изотопов пополнилось радиоактивными водородом-3 (*тритием*), фосфором-32, серой-35, калием-42, радиоактивными натрием, йодом, железом, медью и, самое главное, радиоактивным углеродом-14. Углерод-14 получили в 1940 году американские химики Мартин Дэвид Кеймен и Самуэль Рубин. К их

великому удивлению, оказалось, что период полураспада углерода-14 составляет более 5000 лет, такого стабильного изотопа среди легких элементов ранее ученые не знали.

Углерод-14 помог разрешить многие проблемы, которые давно стояли перед исследователями и которые многие годы казались неразрешимыми. Одной из загадок, разгадке которой этот изотоп немало способствовал, было образование в организме вещества, известного под названием *холестерин*. Формула холестерина, над установлением которой трудились много лет такие ученые, как Виланд — за серию работ с веществами, являющимися производными холестерина, он в 1927 году получил Нобелевскую премию по химии, — выглядит так:



Холестерин играет большую роль в жизнедеятельности организма, и функции его до конца еще не установлены. Большие количества холестерина обнаружены в оболочках, окружающих нервы, в надпочечниках; его находят как в свободном, так и в связанном с некоторыми белками виде. При избытке он способствует образованию камней в желчном пузыре и развитию атеросклероза. Но наиболее важным является то, что холестерин является предшественником целого семейства химических соединений, называемых *стероиды*. Ядро молекул стероидов состоит из четырех сочлененных колец, тех же самых, которые вы видите в формуле холестерина. Стероиды — это твердые жироподобные вещества. Половые гормоны и гормоны коры надпочечников по химической природе являются стероидами. Все стероиды, несомненно, образуются из холестерина, но как сам холестерин синтезируется в организме?

До появления меченых молекул биохимии об этом имели весьма смутное представление. Первыми, кто приступил к разрешению этой проблемы, стали Рудольф Шенхаймер и его коллега

Дэвид Риттенберг. Они поили крыс тяжелой водой и следили за появлением в молекулах холестерина дейтерия. Они обнаружили появление в молекуле холестерина тяжелого водорода, но результаты этих экспериментов не представляли большого интереса, поскольку появление дейтерия происходило, главным образом, за счет водородного обмена. В 1942 году, после трагической кончины Шенхаймера (он покончил жизнь самоубийством), Риттенберг и американский биохимик, немец по происхождению, Конрад Эмиль Блох нашли ключ к решению загадки синтеза холестерина. Они добавляли в корм крысам ацетатный ион (CH_3COO^-), в котором дейтерий был прочно связан с углеродом в CH_3 -группе. Дейтерий снова появился в молекуле холестерина, и на этот раз его появление нельзя было объяснить следствием обмена — он включался в холестерин в составе CH_3 -группы.

Группа, состоящая из двух атомов углерода (ацетатный ион — одна из ее разновидностей), по всей видимости является главной разменной монетой в метаболизме. Поэтому такие группы могут хорошо служить материалом для строительства холестерина. Но как из них строится молекула?

В 1950 году, после того как углерод-14 вошел в практику исследований, Блох повторил свой эксперимент, но на этот раз он пометил в ацетатном ионе оба атома углерода: в CH_3 -группе стабильным изотопом углеродом-13, а в группе COO^- — радиоактивным углеродом-14. Затем, добавляя такой ион в корм крысам, Блох следил, где в молекуле холестерина появятся эти два меченых атома углерода. Подобный анализ был долгой и сложной работой и требовал высокого экспериментального мастерства. Несколько лет Блох со своими сотрудниками трудились над выяснением происхождения каждого атома углерода в молекуле холестерина. В результате тщательного, кропотливого анализа было установлено, что из ацетатных групп сначала, скорее всего, образуется вещество, состоящее из 30 атомов углерода — *скавален*, — соединение, довольно редко встречающееся в организме, которому никто из исследователей прежде не уделял особого внимания. Теперь, когда стало ясно, что скавален является предшественником холестерина, он вызвал у биохимиков большой интерес. За эту работу Блох и Линен в 1964 году получили Нобелевскую премию в области физиологии и медицины.

Примерно так же дружно, как они взялись за разгадку синтеза холестерина, биохимики начали трудиться над тайной синтеза порфиринового кольца гема — этой очень важной части гемоглобина и многих ферментов. Исследователь из Колумбийского университета Дэвид Шемин добавлял в корм уткам аминокислоту глицин, меченную по различным атомам. Затем, выделив из крови птиц порфирин, ученый следил за появлением в нем метки. Молекула глицина ($\text{NH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$) содержит два атома углерода. Когда Шемин метил углеродом-14 группу CH_2 , то меченый угле-

род появлялся в порфирине, если же вводилась аминокислота с меченой COOH -группой, то углерод-14 в порфирине не появлялся. Отсюда можно было сделать вывод, что CH_2 -группа глицина участвует в синтезе порфирина, а COOH -группа — нет.

Работая с Риттенбергом, Шемин обнаружил, что включение атомов глицина в молекулу порфирина происходит не только при попадании аминокислоты в организм, но и при добавлении глицина в кровь, собранную в пробирку. Это значительно упростило проведение работы, поскольку результаты таких экспериментов получались более четкие, при этом не требовалось забивать птиц — достаточно было брать у них кровь.

Шемин затем пометил глицин одновременно по азоту и по углероду, введя в молекулу аминокислоты азот-15 и углерод-14. После добавления такого глицина к крови уток и выделения из нее порфирина было установлено, что все четыре атома азота в молекуле порфирина происходят из глицина. Из глицина происходят и смежные с азотом в каждом из четырех пиррольных колец атомы углерода, а также атомы углерода мостиков, соединяющих пиррольные кольца. Это не касается остальных 26 атомов углерода в молекуле порфирина: 12 в кольце и 14 в боковых цепях. Эти углероды происходят из ацетатных групп: одни — из углеродов CH_2 -группы, другие — из COO -группы ацетатного иона.

Зная распределение меченых атомов в молекуле порфирина, можно было установить, каким образом ацетат и глицин соединяются в молекулу порфирина. Сначала, соединяясь, они образуют единичное пиррольное кольцо, затем два пиррольных кольца объединяются в двукольцевое сочленение и только потом две двукольцевые пиррольные структуры соединяются и образуют четырехпиррольную молекулу порфирина.

В 1952 году английский химик Р.Дж. Весталл, проводивший исследования независимо от Шемина, получил в чистом виде вещество, называемое *порфобилиноген*. Это вещество присутствует в моче людей, страдающих нарушением обмена порфирина, поэтому Весталл и решил сравнить его структуру со структурой порфирина. Структура порфобилиногена оказалась почти полностью идентичной однокольцевой пиррольной структуре, синтез которой, по мнению Шемина и его коллег, являлся первым этапом в синтезе порфирина. Следовательно, порфобилиноген был прообразом порфирина.

Затем было доказано, что в организме образуется такое соединение, как *дельта-аминолевулиновая кислота* — вещество, структура которого похожа на структуру молекулы порфобилиногена, разорванной на две половины. Как оказалось впоследствии, дельта-аминолевулиновая кислота может поставлять все атомы, необходимые для включения в молекулу порфирина в клетках крови. Отсюда наиболее вероятно заключить, что вначале в клетках кро-

ви из глицина и ацетата синтезируется дельта-аминолевулиновая кислота, при этом COOH -группа глицина освобождается в виде углекислого газа. Затем две молекулы дельта-аминолевулиновой кислоты соединяются, образуя порфобилиноген (однокольцевую пиррольную структуру), затем две молекулы порфобилиногена объединяются в двукольцевую структуру и, наконец, при последующем объединении двух двукольцевых структур получается молекула порфирина, состоящая из четырех пиррольных колец.

Фотосинтез

Однако наиболее ценной серией исследований, проведенных с помощью меченых атомов, является изучение сложной последовательности этапов роста зеленых растений, от которых зависит вся жизнь на нашей планете.

Царство животных не могло бы существовать, если бы животные питались исключительно друг другом, точно так же, как и человек не может вытянуть себя за волосы из болота. И пожирающий зебру лев, и человек, жующий бифштекс, в действительности потребляют пищу, созданную благодаря стараниям представителей растительного мира и большим затратам с его стороны. Согласно второму закону термодинамики, на каждом этапе циклического процесса что-то теряется. Ни одно животное не состоит из тех углеводов, жиров и белков, которые содержатся в потребляемой им пище, ни одно животное не может использовать всю энергию, заключенную в этой пище. Большая часть энергии, точнее говоря, большая ее часть, неизбежно теряется в виде неиспользованного тепла. Таким образом, на каждом уровне потребления пищи часть заключенной в ней химической энергии рассеивается. Следовательно, если бы все животные были бы плотоядными, все животное царство уже вымерло бы через несколько поколений.

На самом деле этого не происходит. К счастью, большинство животных травоядные. Они питаются травой на лугах, листьями деревьев, семенами, орехами, фруктами или морскими водорослями и микроскопическими зелеными растительными клетками, заполняющими верхние слои океанов. Лишь небольшая часть животных, населяющих нашу планету, составляет группу плотоядных.

Что касается растений, то они были бы не в лучшем положении, если бы не получали энергию извне. Растения синтезируют углеводы, жиры и белки из таких простых веществ, как углекислый газ и вода. Этот синтез требует затраты энергии, и растения черпают ее из наиболее доступного и обильного источника — они потребляют энергию солнечного света. Зеленые растения преобразуют энергию солнца в химическую энергию сложных соеди-

нений и в этом виде поставляют ее всем жизненным формам на земле (исключение составляют лишь некоторые бактерии). На это впервые обратил внимание немецкий физик Юлиус Роберт фон Майер, который был одним из тех, кто установил закон сохранения энергии, поэтому он осмысленно относился к проблеме энергетического баланса в природе. Процесс, с помощью которого зеленые растения утилизируют энергию солнечного света, называется *фотосинтез*, что в переводе с греческого означает «собрать воедино с помощью света».

Первым попытался исследовать рост растений фламандский химик Жан Баптиста ван Хельмонт. Он посадил маленькую иву в кадку, содержащую точно взвешенное количество земли и, ко всеобщему удивлению, обнаружил, что, когда дерево выросло, земли в кадке не убавилось — ее осталось ровно столько же, сколько и было вначале. До этого считалось само собой разумеющимся, что растения все содержащиеся в них вещества получают из земли. Но если оказалось, что это не так, то откуда они их берут? (В действительности растения впитывают некоторые минералы и ионы из почвы, но не в таких количествах, которые можно определить с помощью обычных весов.) Ван Хельмонт решил, что основным строительным материалом для растений явилась вода, которой он обильно поливал дерево. Частично он был прав.

Век спустя английский физиолог Стефан Хейлс показал, что растения образуют содержащиеся в них вещества из материала куда более эфемерного, нежели вода, а именно из воздуха. Еще через 50 лет голландский физик Ян Инген-Хоус идентифицировал питательный ингредиент воздуха, которым оказался углекислый газ. Он также показал, что растения не могут потреблять углекислый газ в темноте, для этого им нужен свет («фото» — первая часть слова «фотосинтез»). Тем временем Пристли, который открыл кислород, выяснил, что зеленые растения выделяют кислород. А в 1804 году швейцарский химик Николас Теодор де Сассур доказал, что вода включается в ткани растений, как и предполагал ван Хельмонт.

Следующим важный вклад в изучение жизнедеятельности растений в середине XIX века внес французский горный инженер Жан Баптиста Буссингаль, который, выращивая растения на почве, полностью лишенной органических веществ, показал, что растения могут получать углерод исключительно из содержащегося в атмосфере углекислого газа. С другой стороны, растения не могут расти на почве, в которой отсутствуют азотсодержащие соединения, и это свидетельствовало о том, что они извлекают свой азот из почвы и что азот, содержащийся в воздухе, растения не усваивают (так, как это делают некоторые бактерии). Позже стало ясно, что взгляд на почву как источник питательных веществ для растений правомерен только для некоторых неорга-

нических солей, таких, как нитраты и фосфаты, — веществ, которые попадают в почву с органическими удобрениями, например с навозом. Химики начали пропагандировать предпочтительное использование в сельском хозяйстве химических удобрений, которые как нельзя лучше соответствуют цели, поскольку не имеют неприятного запаха и значительно снижают риск попадания в организм человека болезнетворных микроорганизмов, которых в навозной куче более чем достаточно.

Таким образом, основа процесса фотосинтеза была установлена: на свету растения потребляют из воздуха углекислый газ и соединяют его с водой, получаемой из почвы, в качестве «отхода» они выделяют кислород. Теперь стало ясно, что растения не только служат источником питания, но и пополняют запасы кислорода в атмосфере. Именно благодаря им за тысячи лет содержание кислорода в атмосфере не уменьшилось и она не заполнилась углекислым газом, что несомненно привело бы к гибели животного мира от удушья.

Масштабы, в которых зеленые растения, покрывающие нашу Землю, производят органические вещества и выделяют кислород, поистине огромны. Ведущий исследователь в области фотосинтеза, американский биохимик, выходец из России, Евгений Рабинович подсчитал, что ежегодно зеленый мир на Земле соединяет 150 миллиардов тонн углерода (из углекислого газа) с 25 миллиардами тонн водорода (из воды), высвобождая при этом 400 миллиардов тонн кислорода. И только 10 процентов объема этой гигантской работы совершают растения, покрывающие землю: деревья лесов и трава лугов. Остальные 90 процентов совершаются благодаря неустанной деятельности одноклеточных растений и водорослей, населяющих безбрежные просторы океанов и морей.

Пока мы познакомились только с канвой фотосинтеза. А каковы детали этого процесса? В 1817 году французы Пьер Жозеф Пеллетье и Жозеф Бьенам Кавенти, которые позже открыли хинин, стрихнин, кофеин и некоторые другие вещества растительного происхождения, выделили наиболее важный продукт, производимый растениями, — тот, который придает им зеленую окраску. Они дали ему название *хлорофилл* (от греческого слова, означающего «зеленый лист»). Затем в 1865 году немецкий ботаник Юлиус фон Захс показал, что, хотя листья растений и кажутся ровно окрашенными, хлорофилл неравномерно распределен в растительной клетке и локализуется он в маленьких субклеточных включениях, которые позднее назвали *хлоропласты*.

Стало ясно, что фотосинтез протекает именно в хлоропластах и что хлорофилл является обязательным участником этого процесса. Однако одного только хлорофилла для фотосинтеза недо-

статочно. Выделенный в чистом виде, он не способен катализировать реакции фотосинтеза в пробирке.

Хлоропласты — образования, как правило, значительно более крупные, чем митохондрии. В некоторых одноклеточных растениях на одно растение приходится один огромный хлоропласт. Однако большинство растительных клеток содержит много более мелких хлоропластов, каждый из которых в два-три раза длиннее и толще обычной митохондрии.

Структура хлоропласта также выглядит более сложной по сравнению с митохондрией. Внутреннее пространство хлоропласта заполнено множеством тонких мембран, тянущихся от стенки к стенке. Это так называемые *пластинки*. В большинстве хлоропластов пластинки местами утолщены, утолщения имеют более темную окраску. Это *граны*, внутри которых и содержится хлорофилл.

Если рассмотреть пластинку под электронным микроскопом, то можно увидеть, что грана, в свою очередь, состоит из мелких, едва видимых элементов, подобно выложенному кафельной плиткой полу в ванной комнате. Каждая из этих «плиток» может быть фотосинтезирующим элементом, содержащим от 250 до 300 молекул хлорофилла.

Хлоропласты труднее, чем митохондрии, выделить неповрежденными. Первым, кому удалось это сделать, стал американский биохимик, выходец из Польши, Даниэль Арнон. Работая с листьями шпината, ему только в 1954 году удалось получить абсолютно неповрежденные хлоропласты, способные выполнять реакции фотосинтеза.

В хлоропластах, помимо хлорофилла, содержатся ферменты и действующие с ними совместно вещества, все компоненты расположены в определенном порядке. В хлоропластах обнаруживаются такие же, как и в митохондриях, цитохромы, с помощью которых энергия солнечных лучей, захватываемая хлоропластами, аккумулируется в АТФ посредством реакций окислительного фосфорилирования.

Однако что известно о структуре хлорофилла, этого наиболее характерного для хлоропластов вещества? Десятилетиями химики, пользуясь всеми доступными методами, пытались найти ключ к разгадке структуры хлорофилла. Наконец, в 1906 году немец Рихард Вильштеттер (тот самый, который повторно открыл хроматографию и ошибочно настаивал на том, что ферменты не являются белками) идентифицировал центральный компонент молекулы хлорофилла. Им оказался металл магний. (За это открытие и за другие работы, проведенные с растительными пигментами, Вильштеттер в 1915 году был удостоен Нобелевской премии.) Долго еще после этого Вильштеттер и Ганс Фишер продолжали

работать над выяснением структуры молекулы хлорофилла, но разрешить эту задачу полностью удалось лишь ученым следующего поколения. К 30-м годам XX века было установлено, что хлорофилл содержит порфириновое кольцо, в целом похожее на гем (структуру которого расшифровал Фишер). Только если в молекуле гема центральное положение в порфириновом кольце занимает атом железа, то в хлорофилле на его месте находится атом магния.

Если у кого-то и были сомнения по этому поводу, то их полностью развеял Р.Б. Вудвард. Выдающийся химик-синтетик, который в 1945 году синтезировал хинин, в 1947 году — стрихнин, а в 1951 году — холестерин, в 1960 году направил свой талант на создание молекулы, которая соответствовала бы химической формуле хлорофилла, установленной Вильштеттером и Фишером. И он синтезировал такое вещество, и, надо заметить, его свойства не отличались от свойств хлорофилла, полученного из зеленых листьев растений. За успехи в области органического синтеза Вудвард в 1965 году был награжден Нобелевской премией.

Но какие реакции осуществляются при помощи хлорофилла? Все, что было известно по этому поводу к началу 30-х годов, это то, что в реакцию вступают углекислый газ и вода, а в результате ее получается кислород. Исследования затруднялись тем, что хлорофилл, выделенный из растений, не катализировал фотосинтетическую реакцию. Для ее осуществления необходимы были или целая растительная клетка, или, как минимум, неповрежденные хлоропласты. Это означало, что исследуемая система очень сложная и ее изучение требует новых подходов.

Биохимики предположили, что сначала растительная клетка из углекислого газа и воды синтезирует глюкозу ($C_6H_{12}O_6$) и лишь только после этого преобразует ее в различные вещества, добавляя к сахару азот, серу, фосфор и прочие неорганические элементы, которые поступают из почвы.

На бумаге это выглядело так. Сначала углекислый газ и вода соединялись с образованием CH_2O (формальдегида), при этом из CO_2 образовывался кислород. Затем молекулы формальдегида полимеризовались в глюкозу: для образования одной молекулы глюкозы следовало объединиться шести молекулам формальдегида.

Для доказательства этой гипотезы требовалось провести подобный синтез в лабораторных условиях. Но как взяться за такую работу? Во-первых, в растениях могли содержаться ферменты, ускоряющие реакции синтеза. Во-вторых, формальдегид — очень токсическое соединение. Биохимики предположили, что в растениях формальдегид превращается в глюкозу так быстро, что его концентрация в растительной клетке всегда бывает ничтожно малой. Поскольку альтернативного варианта теории фотосинтеза не существовало, этой, так называемой формальдегидной те-

орией, впервые предложенной в 1870 году Байером (он синтезировал индиго), руководствовались два поколения ученых.

Начало следующей атаки на проблему фотосинтеза датируется 1938 годом, когда Рубен и Кеймен решили в своих экспериментах применить меченые атомы. Используя кислород-18, редкий стабильный изотоп кислорода, они получили недвусмысленные результаты. Оказалось, что если меченый кислород находился в составе воды, которую добавляли в почву, то образуемый растением кислород содержал метку, а если кислород-18 входил только в состав углекислого газа, то метки в выделяемом кислороде не обнаруживалось. Короче говоря, кислород, выделяемый растением, происходит из молекулы воды, а не из углекислого газа, как предполагали сторонники формальдегидной теории.

Рубен с коллегами пытались проследить судьбу атомов углерода в растениях, пометив углекислый газ радиоактивным изотопом углеродом-11 (тогда был известен только этот радиоактивный изотоп углерода). Но эта попытка закончилась неудачей по двум причинам. Во-первых, время полураспада углерода-11 составляет всего лишь 20'30". Во-вторых, в то время не существовало методов, с помощью которых можно было быстро и достаточно хорошо разделить индивидуальные компоненты растительной клетки.

Но в начале 40-х годов XX столетия в руки исследователей все же попал инструмент, столь необходимый для их работы. Рубен и Кеймен открыли углерод-14, долгоживущий радиоизотоп, который позволял проследить длительный путь углерода в растительной клетке на протяжении всех стадий фотосинтеза. В свою очередь, усовершенствование метода хроматографии на бумаге обеспечило ученых возможностью быстрого и эффективного разделения сложных смесей. (Радиоактивные изотопы позволяют по-новому использовать метод хроматографии на бумаге: если под хроматографическую бумагу подложить фотопленку, то радиоактивные пятна на бумаге, означающие присутствие метки, будут вызывать появление темных пятен на фотопленке, так что хроматограмма будет сама создавать свое собственное видимое изображение — этот метод называется *авторадиография*.)

Во второй половине 40-х годов лидерство в изучении фотосинтеза захватила другая группа американских биохимиков, которую возглавлял Мелвин Калвин. Для того чтобы исследовать самые начальные этапы фотосинтеза, они на короткое время помещали клетки растения *хлореллы* в атмосферу углекислого газа, содержащего углерод-14. Затем клетки хлореллы разрушали, разделяли с помощью хроматографии содержащиеся в них вещества и получали авторадиограммы.

Ученые обнаружили, что если поместить растительные клетки в атмосферу углекислого газа, меченного по углероду, то уже через полторы минуты метку можно обнаружить в 15 соединениях, выделенных из этих клеток. По мере уменьшения времени экс-

позиции уменьшалось и число веществ, в которые включалась метка. В конце концов, исследователи подобрали такое короткое время, за которое метка успевала включиться только в одно вещество. Проведя эксперименты, исследователи пришли к выводу, что этим первым веществом (по крайней мере, одним из первых), в которое включается углерод углекислого газа, является *фосфоглицерат*. (Следует отметить, что среди веществ, синтезируемых растительной клеткой, они вообще не обнаружили формальдегида — старая формальдегидная теория оказалась полностью несостоятельной.)

Фосфоглицерат — это соединение, в состав которого входят три атома углерода. Так как предшественников с одним или двумя углеродами обнаружить не удалось, вероятнее всего, фосфоглицерат образуется в результате каких-то сложных побочных реакций. Помимо этого соединения, были обнаружены еще два фосфорсодержащих вещества, образующихся за очень короткие промежутки времени. Оба вещества оказались сахарами: рибулозодифосфат (в его состав входят пять атомов углерода) и седогеπτулозофосфат (состоящий из семи углеродных атомов).

Схема фотосинтеза, которая наилучшим образом отражала результаты экспериментов, получалась такой: вначале углекислый газ взаимодействует с пятиуглеродной молекулой рибулозодифосфата, образуя шестиуглеродное соединение. Оно быстро распадается на две триуглеродные молекулы фосфоглицерата. Пройдя несколько реакций, в которых участвуют седогеπτулозофосфат и другие соединения, две молекулы фосфоглицерата соединяются с образованием шестиуглеродной молекулы глюкозофосфата. За это время рибулозодифосфат переходит в исходное состояние и становится готовым к взаимодействию со второй молекулой углекислого газа. Представьте шесть действующих непрерывно циклов. Каждый цикл по мере своего завершения поставляет один атом углерода (из углекислого газа), и в результате работы всех циклов синтезируется молекула глюкозофосфата. Второе завершение шести циклов приводит к синтезу второй молекулы глюкозофосфата и т. д.

С энергетической точки зрения этот процесс прямо противоположен циклу лимонной кислоты: если в результате цикла Кребса фрагменты углеводов распадаются до углекислого газа, то в результате рибулозодифосфатного цикла углеводы, наоборот, образуются из углекислого газа; если в результате цикла Кребса освобождается энергия для нужд организма, то рибулозодифосфатный цикл, наоборот, протекает с потреблением энергии.

С этой схемой хорошо согласуются результаты экспериментов, проведенных Рубеном и Кейменом ранее. Благодаря каталитической активности хлорофиллов энергия солнечного света используется для разложения молекулы воды на водород и кислород. Этому процессу было дано название *фотолиз* (от греческого

слова, означающего «разрушение светом»). Таким путем тепловая энергия солнечного света переходит в химическую энергию молекул водорода и кислорода, поскольку суммарная химическая энергия этих молекул больше, чем химическая энергия молекулы воды, из которой они произошли.

Человеку пришлось бы затратить много энергии, чтобы разложить воду на водород и кислород: например, или нагреть воду до температуры 2000 градусов, или пропустить через нее сильный электрический ток. Хлорофилл делает это легко при обычной температуре. Все, что ему для этого нужно, — это относительно небольшая энергия видимых лучей света. Растения используют энергию света, которую они поглощают, с эффективностью, как минимум, 30 процентов, и некоторые исследователи считают, что в идеальных условиях эффективность использования света растениями может достигать 100 процентов. Если бы человек мог использовать энергию столь же эффективно, как и растения, у него было бы гораздо меньше причин беспокоиться о пище и тепле.

После того как молекула воды распадается на водород и кислород, половина атомов водорода вступает в рибулозодифосфатный цикл, а половина атомов кислорода выходит в воздух. Остальные атомы водорода и кислорода соединяются обратно в молекулы воды. Таким путем они освобождаются от избытка энергии, которую получили от солнечного света при разложении воды, и этот избыток энергии переходит затем в энергию фосфатных связей таких соединений, как, например, АТФ. Энергия, хранящаяся в этих соединениях, используется затем в рибулозодифосфатном цикле. За открытие реакций, происходящих в процессе фотосинтеза, Калвин в 1961 году получил Нобелевскую премию по химии.

В завершение хочу сказать, что существуют некоторые формы жизни, способные накапливать энергию без хлорофилла. Приблизительно в 1880 году были открыты хемосинтетические бактерии — бактерии, которые способны поглощать углекислый газ в темноте и которые не выделяют кислорода. Несколько окисленных серосодержащих веществ, несколько других окисленных соединений плюс еще парочка химических изысков — для хемосинтетических бактерий этого вполне достаточно, чтобы восполнить свои энергетические затраты.

В некоторых бактериях содержатся хлорофиллоподобные вещества (например, бактериохлорофилл), которые помогают им переводить углекислый газ в органические соединения, используя энергию солнечных лучей, иногда даже лежащих близко к инфракрасной области спектра, чего обычный хлорофилл делать не может. Но только хлорофилл способен осуществлять разложение воды и хранить огромные запасы выделяющейся при этом

энергии; бактериохлорофилл использует гораздо менее эффективные энергетические механизмы.

Все другие способы получения энергии, отличающиеся от использования энергии солнечного света с помощью хлорофилла, бесперспективны, и ни одно живое создание, более сложное, чем бактерия, не способно успешно ими пользоваться. Для остальных же форм жизни на Земле (включая даже большинство бактерий) хлорофилл и фотосинтез прямо или косвенно являются основой жизни.

Глава 12

КЛЕТКА

Хромосомы

Парадоксально, но факт: до последнего времени человек очень мало что знал о своем организме. Всего около 300 лет назад ему стало известно о циркуляции крови, а всего лишь несколько десятилетий назад — о функциях большинства внутренних органов своего организма.

Доисторический человек, разделявая туши животных или бальзамируя тела сородичей при подготовке их к загробной жизни, познавал устройство организма, он знал о существовании таких крупных органов, как мозг, печень, сердце, легкие, желудок, кишечник и почки. Сведения в этой области пополняло и частое использование внутренних органов умерщвленных животных (как правило, печени) в ритуалах, пророческих действиях, при оценке благосклонности богов или, наоборот, их немилости. Египетские папирусы, рассказывающие о методах хирургического вмешательства, что уже предполагает хорошую осведомленность о строении человеческого тела, датируются более чем 2000 лет до нашей эры.

Древние греки пошли дальше: они преднамеренно вскрывали животных, а иногда и трупы людей для того, чтобы узнать их *анатомию* (в переводе с греческого означает «разрезать на части»). И в этой области они достаточно преуспели. Алкмеон из Кротона примерно за 500 лет до нашей эры первым описал зрительный нерв и евстахиеву трубу. Двумя веками позже в Александрии, в Древнем Египте (тогда она была центром мировой науки), Герофил и его ученик Эрасистрат основали прекрасную греческую школу анатомии. Они исследовали головной мозг, охарактеризовали полушария и мозжечок, описали сосуды и нервы.

Древняя анатомия достигла своего пика во времена Галена — греческого врача, имевшего практику в Риме во второй половине II века. Гален разработал теории о функциях человеческого организма, и эти теории считались общепринятыми на протяже-

нии еще полутора тысяч лет. Правда, в своих представлениях о человеческом теле Гален допустил много курьезных ошибок. И это понятно, поскольку основную информацию древние получали при вскрытии исключительно животных. Запреты разного рода не позволяли им использовать для этих целей трупы людей.

С началом христианства авторы первых духовных произведений осуждали греков-язычников, обвиняя их в бессердечной вывешивании живых человеческих существ. Но все это больше походило на вымыслы литераторов того времени, имевших цель развернуть в обществе полемику. Нет никаких сомнений в том, что греки не вскрывали живых людей, более того, даже человеческие трупы они вскрывали очень редко, поэтому и знания о строении человеческого тела были весьма ограниченными. Так или иначе, но Церковь не одобрила вскрытие, чем, по сути, затормозила развитие анатомической науки вплоть до окончания Средних веков. В тот период истории анатомии, как науки, не существовало.

Возрождение анатомии началось в Италии. В 1316 году итальянский анатом Мондино де Луцци написал первую книгу, полностью посвященную анатомии, за что прославился как реставратор анатомии.

Интерес к натуралистическому искусству в эпоху Ренессанса также способствовал развитию анатомии. В XV веке Леонардо да Винчи произвел несколько вскрытий, благодаря чему обнаружил факты, до той поры неизвестные анатомам. Свои находки гениальный художник запечатлел в рисунках. Он обнаружил, что позвоночник имеет двойной изгиб и что в костях лица и лба есть полости — пазухи. Свои знания о строении тела он изложил в теориях, которые оказались более обоснованными, чем анатомические теории Галена. Но великий Леонардо, несмотря на свою гениальность, как в искусстве, так и в науке, мало повлиял на развитие анатомии, поскольку не пользовался авторитетом в научном мире того времени. То ли просто не желая, то ли руководствуясь здравым смыслом, он так и не опубликовал ни одной из своих научных работ, хотя и хранил тетради, где они были записаны в зашифрованном виде. Он предоставил возможность последующим поколениям опубликовать результаты его труда и оценить по заслугам его научные достижения.

Французский врач Жан Фернель был первым, кто начал рассматривать вскрытие как важную часть работы каждого врача. На эту тему в 1542 году вышла его книга. Однако это издание почти полностью затмил труд, опубликованный год спустя. Это была известная книга *De Humani Corporis Fabrica* («Об устройстве человеческого тела»), которую написал Андреас Весапиус, бельгиец, большей частью проработавший в Италии. Будучи сторонником точки зрения, что строение человека можно изучать только на человеке, он, проводя вскрытия, исправил многие ошибки

Галена. Рисунки его книги, изображающие строение человеческих органов (считают, что рисунки сделал Ян Стевенсон ван Калкар, ученик знаменитого Тициана), стали классическими. Они настолько красивы и точны в изображении тела человека, что до сего дня используются как иллюстрации в учебниках анатомии. Книга Весалиуса произвела революцию в умах научной общности того времени, как и известный труд Коперника *De Revolutionibus Orbium Coelestium*, опубликованный в том же году.

Как идеи Коперника были подхвачены Галилеем, так и учение Весалиуса легло в основу решающих открытий Вильяма Харви. Харви, врач и экспериментатор, живший в Англии, принадлежал к поколению Галилея и Уильяма Джилберта, открывшего явление магнетизма. Его особый интерес вызвала жизненно важная для организма жидкость — кровь. Зачем она нужна человеку?

Уже было известно, что существует два типа кровеносных сосудов: вены и артерии. (Праксагор из Коса, греческий врач, живший в III веке до нашей эры, назвал один тип сосудов *артериями*. В переводе с греческого это означает «я несу воздух», поскольку после смерти артерии бывают пустыми. Позднее Гален установил, что в живом организме по ним движется кровь.) Также уже знали, что кровь по сосудам движется благодаря биениям сердца, поскольку из перерезанной артерии кровь бьет толчками, синхронными с биением сердца.

Гален предположил, что кровь как бы качается в сосудах взад-вперед, двигаясь сначала в одном направлении, затем в противоположном. Такая точка зрения помогала Галену объяснить, почему движение крови по сосудам не блокируется перегородкой между двумя половинами сердца.

Харви более тщательно разобрался в строении сердца. Он установил, что каждая его половина поделена на две камеры, разделенные клапаном, который пропускает кровь только в одном направлении: из верхней камеры (*предсердия*) в нижнюю (*желудочек*). Другими словами, в правой и левой половинах сердца кровь, попадая в предсердие, перекачивается в желудочек, из которого уже выходит в сосуды. В обратном направлении кровь двигаться не может.

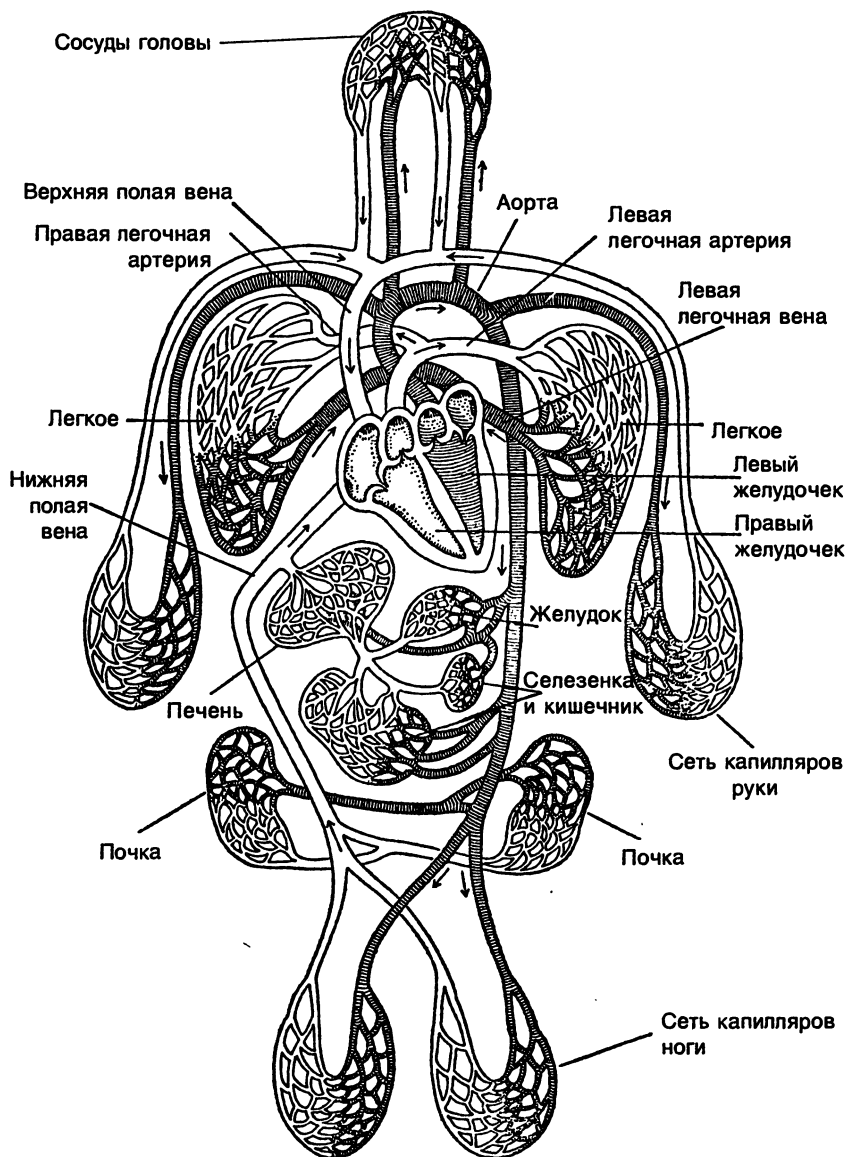
Для того чтобы определить, в каком направлении движется по сосудам кровь, Харви проделал простой, но изящный эксперимент. Он перевязывал у живого животного сосуды, будь то артерии или вены, и проверял, с какой стороны от места перевязки давление в сосуде будет возрастать. Харви обнаружил, что при перевязывании артерии сосуд разбухает с той стороны, которая находится между сердцем и местом блока. Это означало, что по артериям кровь движется от сердца. При перевязывании вены всегда раздувалась противоположная часть сосуда, на основании чего можно было сделать вывод, что по венам кровь движется к сердцу.

Плюс к этому было получено важное свидетельство того, что кровь по сосудам движется только в одну сторону: в крупных венах были обнаружены клапаны, препятствующие току крови в направлении от сердца. Этот факт установил учитель Харви, итальянский анатом Иероним Фабрици (более известен под латинизированным именем Фабрициус). Однако Фабрициус, следуя традиции, заложенной Галеном, из своего наблюдения не сделал само собой напрашивающегося официального заключения, чем внес свою лепту в славу своего ученика из далекой Англии.

Харви попробовал количественно определить скорость истечения крови из сердца (он был первым, кто использовал арсенал математических методов для решения биологической проблемы). Его измерения показали, что сердце с такой скоростью движет кровь по сосудам, что за 20 минут оно способно выкачать всю кровь, содержащуюся в теле человека. Трудно было предположить, что за это время в организме образуется новый запас крови, как и то, что старая кровь с такой же скоростью непонятным образом уходит из тела. Гораздо логичнее было прийти к заключению, что кровь из сосудов никуда не выливается и не образуется вновь — она циркулирует по телу, вытекая из сердца по артериям, и по венам возвращаясь обратно в сердце. Поэтому Харви сделал вывод: сердце выкачивает кровь в артерии, затем прогоняет ее по венам, после этого кровь опять попадает в сердце, оно снова выкачивает кровь в артерии и т. д. Короче говоря, кровь постоянно циркулирует в одном направлении по сердечно-сосудистой системе.

Прежде анатомам приходила в голову такая мысль, но Харви первый сформулировал и детально исследовал это предположение. Он оформил результаты своих экспериментов и выводы, к которым пришел, в маленькой книжке под названием *De Motus Cordis* («О движении сердца»), которая вышла в 1628 году (в отвлеченном издании) и которая до сего времени остается одним из выдающихся классических научных трудов.

Однако в своей книге Харви не ответил на главный вопрос: как кровь из артерий переходит в вены? Харви считал, что существуют специальные сосуды, соединяющие артерии с венами, только эти сосуды настолько малы, что их нельзя обнаружить. Эта мысль немного напоминала предположение Галена о существовании в сердечной перегородке маленьких отверстий, но если отверстий Галена в перегородке так никто и не нашел, то в существовании соединяющих сосудов убедились сразу же, как только был изобретен микроскоп. В 1661 году, через четыре года после смерти Харви, итальянский врач Марчелло Мальпиги с помощью микроскопа исследовал ткань легкого лягушки; микроскоп был примитивным, но, как оказалось, достаточно хорошим, чтобы рассмотреть мелкие сосуды, которые соединяли вены и артерии. Мальпиги дал им название *капилляры*, что в переводе с латинского означает «тонкие, как волосы».



Сердечно-сосудистая система

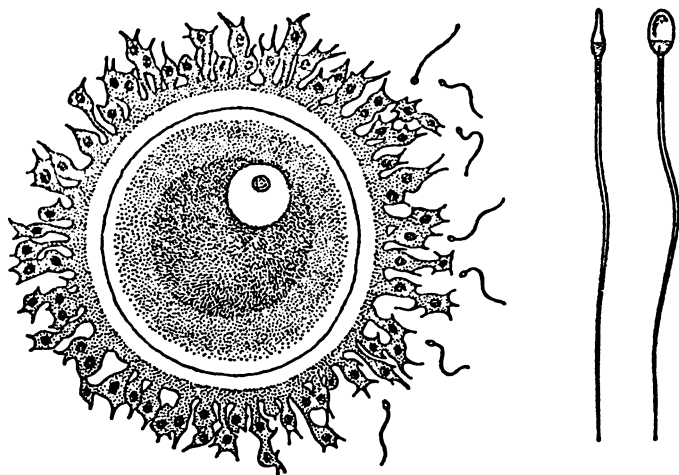
Появление микроскопа позволило обнаружить и другие мелкие образования. Голландский натуралист Ян Сваммердам открыл красные кровяные тельца, его соотечественник Режнье де Грааф обнаружил в яичниках животных фолликулы. Появилась возможность тщательно изучать такие мелкие животные организмы, как, например, насекомые.

Изучение детального устройства различных организмов, в свою очередь, позволило сравнивать строение одних представителей животного мира со строением других. Английский ботаник Н. Грю стал первым исследователем в области сравнительной анатомии. В 1675 году он опубликовал результаты работы, посвященной сравнению структуры стволов различных деревьев, а в 1681 году — сравнительным характеристикам строения желудков различных животных.

Появление микроскопов способствовало также возникновению интереса у биологов к изучению нового, более глубокого уровня организации живой материи: уровня, на котором все живые структуры можно было бы привести к общему знаменателю. В 1665 году английский ученый Роберт Хуук при помощи сложного микроскопа, который он сам сконструировал, обнаружил, что пробка (кора пробкового дерева) подобно губке разбита на мельчайшие ячейки. Эти ячейки он назвал *клетки*, сравнив их с крохотными комнатками наподобие монашеских келий. Вслед за ним и другие исследователи обнаружили подобные ячейки в живых тканях.

За последующие полтора века биологам постепенно становилось ясно, что вся живая материя построена из клеток и что клетка является независимой структурной единицей живого. Есть живые формы — некоторые микроорганизмы, — состоящие только из одной клетки; остальные же, более крупные организмы состоят из многих клеток, взаимодействующих между собой. Одним из первых, кто выдвинул подобную точку зрения на живую материю, был французский физиолог Рене Иоахим Генри Дютроше. Однако его доклад, опубликованный в 1824 году, остался незамеченным, а клеточная теория строения живой материи снискала известность только после того, как ее независимо сформулировали немецкие исследователи Маттиас Якоб Шлейден и Теодор Шванн в 1838-м и 1839 годах соответственно.

Коллоидной жидкости, заполнявшей некоторые клетки, чешский физиолог Ян Евангелиста Пуркинье дал название *протоплазма* (что в переводе с греческого означает «первая форма»), а немецкий ботаник Хуго фон Мооль распространил этот термин для обозначения содержимого всех клеток. Немецкий анатом Макс Иоганн Сигизмунд Шульце подчеркивал значение протоплазмы как «физической основы живого», он показал, что протоплазма у



Яйцеклетка и сперматозоиды человека

всех клеток схожа: как у растительных, так и у животных, как клеток самых простых, так и клеток самых сложных организмов.

Теория клеточного строения организмов для биологии значит то же самое, что и атомная теория строения веществ для химии и физики. Ее значение для динамики живого примерно в 1860 году выразил немецкий патолог Рудольф Вирхов короткой фразой: *клетки происходят от клеток*. Он показал, что клетки живой ткани образуются при делении первоначально здоровых клеток.

К тому времени стало ясно, что все живые организмы, даже самые большие, начинают жизнь как одна-единственная клетка. Иоганн Хам, помощник Левенгука, был в числе первых, кто начал заниматься микроскопией, — он обнаружил в семенной жидкости крошечные тела, которым позднее дали название *сперматозоиды* (в переводе с греческого «семена животных»). Гораздо позже, в 1827 году, немецкий физиолог Карл Эрнст фон Байер обнаружил у самок млекопитающих *яйцо*, или *яйцеклетку*. Биологи начали осознавать, что при слиянии яйцеклетки со сперматозоидом образуется оплодотворенное яйцо, из которого со временем путем многократных делений развивается организм животного.

И тут возник важный вопрос: а как клетки делятся? Ответ на него кроется в небольшом шаровидном теле, состоящем из относительно плотного оптически материала. Это тело находится внутри клетки, описал его первым Роберт Броун (он же открыл и броуновское движение) в 1831 году, он и дал ему название *ядро*. (Чтобы не путать его с ядром атома, я буду впредь называть его еще и клеточным ядром или ядром клетки.)

При разделении одноклеточных организмов на две половины клеточное ядро остается целым и обнаруживается всегда в одной из этих половин, только эта половина способна далее расти и делиться. Позже было установлено, что клетки, у которых вообще нет ядер, как, например, красные клетки крови млекопитающих, живут недолго и они не способны к росту и размножению. (По этой причине красные клетки вообще не считают истинными клетками и чаще называют *тельцами*.)

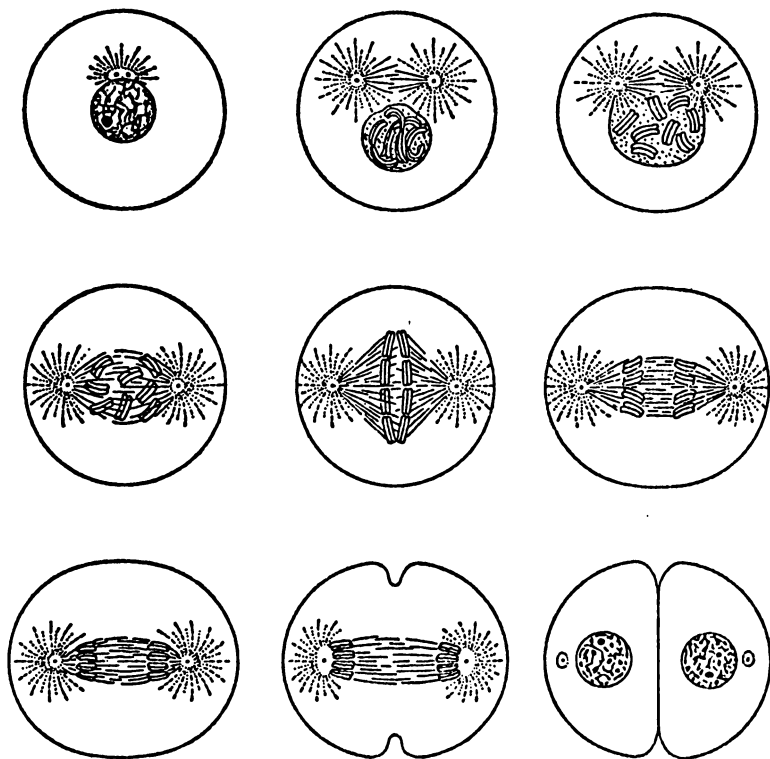
К сожалению, дальнейшее изучение клеточных ядер и механизма деления клеток надолго затормозилось по причине того, что клетка — слишком прозрачный объект, чтобы ее субклеточные структуры можно было хорошо рассмотреть под микроскопом. Ситуация улучшилась после того, как обнаружили, что некоторые красители способны избирательно окрашивать определенные структуры клетки. Краситель, называемый *гематоксилин* (его получают из кампешевого дерева), окрашивает клеточные ядра в темный цвет, что выделяет их на окружающем фоне. После того как Перкин и другие химики начали выпускать синтетические красители, биологи перепробовали их, чтобы выбрать те, которые подходят для окраски клеток.

В 1879 году немецкий биолог Вальтер Флемминг обнаружил, что некоторые красные красители способны окрашивать особое вещество, которое распределено в клеточном ядре в виде маленьких гранул. Он назвал это вещество *хроматин* (в переводе с греческого «цвет»). Исследуя этот материал, Флемминг обратил внимание на то, что он меняется в процессе деления клетки. Клетка, обработанная красителем, конечно же была уже неживой, но на срезах ткани были видны и другие клетки, находящиеся на различных стадиях деления. Они были как застывшие картинки, из которых, собрав их вместе, можно было составить кинофильм, показывающий ход деления клетки.

В 1882 году Флемминг опубликовал книгу, в которой подробно описал этот процесс деления клетки. В начале деления хроматин собирается в виде нитей. Тонкая мембрана, окружающая клеточное ядро, будто бы исчезает, и в это же самое время небольшое внутриклеточное включение, которое находилось снаружи ядра, делится на два. Флемминг назвал это включение *звездой*, так как исходящие из него тонкие лучики делали его похожим на звезду. После того как из одной звезды образовывались две, они начинали двигаться к противоположным полюсам клетки. Тянущиеся вслед за звездами лучи окружали с двух сторон хроматин, который тем временем выстраивался в центре клетки в ряд, после чего звезды растаскивали его нити, каждая в свою половину клетки. В результате в середине клетки появлялась вмятина, клетка делилась пополам и вместо одной клетки получались две. В каждой вокруг хроматина вновь возникала ядерная мембрана — образовывалось клеточное ядро, после чего хроматин снова рассыпался на гранулы.

Флемминг дал такому способу деления название *митоз*, что на греческом означает «нить», так как именно нити хроматина играли в нем ведущую роль. В 1888 году немецкий анатом Вильгельм фон Вальдейер дал нити хроматина название *хромосома*, что в переводе с греческого означает «окрашенное тело». Этим термином пользуются и до сего дня, хотя, по правде говоря, хромосомы в обычном неокрашенном состоянии бесцветные и их трудно различить на общем фоне содержимого внутри клетки. (Тем не менее немецкий ботаник-любитель Вильгельм Фридрих Бенедикт Гофмейстер еще в 1848 году в клетках цветков смог разглядеть их размытое изображение.)

Дальнейшее исследование окрашенных срезов показало, что в клетках растений и животных различных видов содержится неодинаковое, но строго определенное для каждого вида количество хромосом. Перед делением клеток митозом число хромосом в них удваивается, поэтому после деления в каждой дочерней клетке содержится столько же хромосом, сколько их было и в материнской клетке.



Деление клетки митозом

Бельгийский эмбриолог Эдуард ван Бенеден в 1885 году обнаружил другой факт: при образовании яйцеклеток или сперматозоидов количество хромосом в них не удваивается, поэтому каждая яйцеклетка или сперматозоид содержат количество хромосом в два раза меньшее, чем их находится в обычных клетках. (Способ деления клеток, при котором образуются сперматозоиды и яйцеклетки, получил название *мейоз*, что в переводе с греческого означает «уменьшение».) Однако в оплодотворенном яйце, образующемся в результате слияния яйцеклетки и сперматозоида, содержится уже полный набор хромосом, половина из них получена от матери через яйцеклетку, половина — через сперматозоид от отца. Оплодотворенная яйцеклетка затем делится, как и обычные клетки, митозом, поэтому все имеющиеся в организме клетки происходят из оплодотворенного яйца.

Несмотря на то что использование красителей сделало хромосомы видимыми, каждую отдельную хромосому очень трудно отличить от остальных. В целом они выглядят как беспорядочный комок вареных поломанных макарон. Поэтому долгое время неверно полагали, что каждая клетка человеческого тела содержит 24 пары хромосом. Так считали до 1956 года, когда более тщательный подсчет показал, что в клетках человеческого организма содержатся 23 пары хромосом.

К счастью, такая проблема в настоящее время не существует. Исследователи разработали метод обработки клеток раствором с низким содержанием солей, в котором клетки набухают и хромосомы в них расходятся. После этого их можно сфотографировать, фотографию порезать так, чтобы на каждом кусочке была запечатлена только одна хромосома. Если теперь разложить хромосомы по парам и выстроить пары по мере уменьшения их длины, то мы получим *кариотип* — полный набор последовательно пронумерованных хромосом.

Открытие кариотипа дало медикам тонкий инструмент для правильного установления диагноза, так как некоторые заболевания связаны с неправильным разделением хромосом. В процессе деления клеток хромосомы могут повреждаться и даже ломаться. Иногда разделение не бывает полным, и в результате у одних дочерних клеток оказываются лишние хромосомы, а другие получают их неполный набор. Подобные аномалии приводят к нарушению функционирования клеток, вплоть до их гибели. (Вот почему процесс деления клеток нам кажется столь совершенным, точным и выверенным. В действительности он не так совершенен, как кажется, — мы не видим в нем ошибок лишь потому, что брак в митозе обрекает клетку на скорую гибель.)

Подобные «неточности» особенно опасны, если они происходят при делении клеток мейозом. В этом случае яйцеклетка или сперматозоид, имея неполный набор хромосом, соединяясь, образуют неполноценное оплодотворенное яйцо, и все клетки, ко-

торые из него будут образовываться в будущем, с самого начала обречены на ту же неполноценность. К счастью, развития дефектной оплодотворенной яйцеклетки, как правило, не происходит, но правила имеют исключения, и тогда каждая клетка в организме получается неполноценной и как следствие развиваются тяжелые врожденные заболевания.

Одно из наиболее часто встречающихся заболеваний такого типа сопровождается серьезными нарушениями умственного развития. Оно называется *синдром Дауна* (его впервые описал в 1866 году английский врач Джон Лангдон Хейдон Даун). Синдром Дауна развивается у одного из тысячи новорожденных, иногда его еще называют монголоидной идиотией, так как люди, страдающие этим заболеванием, имеют разрез глаз, характерный для жителей восточной части Азии. В действительности этот синдром не имеет ничего общего с азиатами, поэтому его второе название является весьма неудачным.

Причина, вызывающая развитие синдрома Дауна, была выявлена только в 1959 году, когда три французских ученых, занимавшихся генетикой (термин *генетика* предложил в 1902 году британский биолог Уильям Бэтсон. — *Примеч. пер.*), Жером Жан Лежьен, М. Готье и П. Турпин, подсчитав количество хромосом в клетках трех больных, обнаружили, что все клетки содержат по 47 хромосом вместо 46. Оказалось, что ошибка кроется в 21-й хромосомной паре: она содержит лишнюю хромосому. Затем, в 1969 году, обнаружили другое заболевание, также сопровождающееся задержкой умственного развития, причина которого была зеркально противоположной: у трехлетней девочки в 21-й паре, наоборот, недоставало одной хромосомы — таким образом, впервые была выявлена недостающая хромосома.

Подобного рода случаи, когда дефектными оказываются другие хромосомные пары, встречаются реже. У больных одной из разновидностей лейкозиев в клетках обнаружили лишний хромосомный фрагмент. Его назвали *филадельфийской хромосомой*, так как впервые этот дефект хромосомного аппарата был выявлен у больного в Филадельфии. Вообще, надо сказать, что обломки хромосом довольно редко являются причиной врожденных заболеваний.

Гены

В 60-х годах XIX века австрийский монах по имени Грегор Иоганн Мендель, который был слишком занят монастырскими делами, чтобы страсти биологов по поводу деления клеток как-то коснулись его, в своем саду спокойно проводил эксперименты, которые со временем позволили сделать вывод о предназначении хромосом. Аббат Мендель был ботаником-любителем; и

его особенно интересовали результаты скрещивания гороха, обладающего различными признаками. Его выдающаяся интуиция подсказала ему, что не следует исследовать наследование всех признаков сразу, что с каждым признаком следует разбираться в отдельности.

Какие признаки интересовали Менделя? Цвет горошин (зеленые и желтые), их внешний вид (гладкие и сморщенные), длина стебля растения (длинные и короткие). Любопытный монах следил, как после скрещивания эти признаки передаются последующим поколениям, скрупулезно записывая результаты наблюдений, что позволило ему сделать выводы, которые до сих пор трактуются как *законы Менделя*.

1. Каждый признак (из тех, что изучал Мендель) определяется своим фактором, который может существовать в двух формах. Одна форма фактора, если, например, говорить о цвете горошин, делает их зелеными, другая — желтыми. (Для простоты воспользуемся современной терминологией. Эти факторы получили название *гены*. Термин *ген*, что в переводе с греческого означает «давать начало, происходить», ввел в 1909 году датский биолог Вильгельм Людвиг Иогансен. Разные формы генов, определяющие различие по одному и тому же признаку, Иогансен назвал *аллелями*. Следовательно, ген, определяющий цвет горошин состоит из двух аллелей: одна аллель определяет желтый цвет, другая — зеленый.)

2. Каждый признак у растения определяется двумя генами, которые оно получает по наследству от родителей. Каждый из родителей передает зародышевой клетке по одному гену, поэтому, когда зародышевые клетки родительских растений при опылении соединяются, в завязи снова появляются два гена, определяющие данный признак. Эти гены могут быть одинаковыми или разными, то есть аллелями.

3. Если ген состоит из двух аллелей, то одна аллель может подавлять действие другой. Например, если растение, дающее желтые горошины, скрестить с растением, дающим зеленые семена, то все горошины в первом поколении будут желтыми. Аллель, которая передает наследуемый признак, называется доминантной, а аллель, действие которой подавляется, называют рецессивной. В нашем примере доминантной является аллель, передающая желтый цвет, рецессивной — передающая зеленый цвет.

4. Однако рецессивные аллели не разрушаются и никуда не исчезают. В горошинах первого поколения аллель зеленого цвета присутствует, просто она не проявляется. Если скрестить два растения, содержащие смешанные гены (то есть одна аллель, передающая желтый цвет, а другая — зеленый), то завязи, в которых соединятся две аллели, передающие зеленый цвет, дадут зеленые горошины и следующие поколения растений, выросших из зеле-

ных горошин, будут давать только зеленые семена. Мендель рассчитал, что при скрещивании гибридных растений, содержащих одну желтую, а вторую зеленую аллели, возможны четыре варианта: а) желтая аллель первого родителя соединится с желтой аллелью второго; б) желтая аллель первого родителя соединится с зеленой второго; в) зеленая аллель первого родителя соединится с желтой аллелью второго и, наконец, г) зеленая аллель первого родителя соединится с зеленой аллелью второго. Из четырех возможных комбинаций только в результате последней получится растение, дающее зеленые семена. Если предположить, что все комбинации равновероятны, то зеленый горох будет давать только одна четвертая часть всех растений следующего поколения. Мендель на опыте убедился, что так и происходит.

5. Мендель также обнаружил, что разные признаки — например, цвет горошин и окраска цветков — наследуются независимо друг от друга. То есть, в нашем случае, красные цветки могут предшествовать стручкам как с желтыми, так и зелеными семенами. То же касается и белых цветков.

В 1863 году Мендель закончил свои эксперименты, тщательно описал их результаты и отправил копию в Швейцарию Карлу Вильгельму фон Негели, ботанику, пользующемуся большим авторитетом. Реакция швейцарца была отрицательной. Фон Негели явно питал склонность к теориям, имеющим глобальные масштабы (его собственные теоретические работы, полные напыщенных выражений, носили полумистический характер), и он посчитал, что простой подсчет растений вряд ли может быть путем, ведущим к познанию истины. Да и можно ли доверять какому-то никому не известному любителю. Судя по всему, отзыв фон Негели обескуражил Менделя, и он вернулся к своим монастырским обязанностям. Со временем он потолстел (настолько, что ему трудно стало работать в саду) и совсем забросил свои исследования. В 1866 году Мендель все же опубликовал результаты своих исследований в одном из провинциальных австрийских журналов, но и эта публикация не привлекла внимания современников.

Были и другие ученые, изучавшие закономерности наследования признаков. Они потихоньку продвигались вперед и приходили к тем же заключениям, которые уже сделал Мендель. Одним из направлений, которое очень интересовало генетиков, были *мутации*, приводящие к рождению уродливых животных, или монстров, появление которых на свет всегда считалось дурным предзнаменованием. (Слово «монстр» происходит от латинского слова, означающего «предупреждение».) В 1871 году массачусетский фермер Сет Райт извлек пользу из проявления мутации в стаде его овец. Однажды на его ферме родился ягненок с необычно короткими ногами. Проницательный янки решил, что такая овца не сможет перепрыгнуть через низкое каменное ограждение,

которое тянулось вокруг фермы, и, воспользовавшись случаем, специально вывел линию коротконогих овец.

Подобный пример практического использования ошибок природы подвиг фермеров на поиски полезных мутаций. В конце XIX века американский садовод Лютер Бербанк достиг значительных успехов в выведении новых сортов растений. Используя не только мутации, но и направленное скрещивание и прививки, ему удалось получить сотни разновидностей плодовых деревьев и кустарников.

Тем временем ботаники старались найти объяснение мутациям. И тут произошел, вероятно, самый поразительный случай во всей истории науки: в одном и том же году по меньшей мере три человека — голландец Хуго де Фриз, немец Карл Эрих Корренс и австриец Эрих фон Чермак — независимо пришли к заключению, которое Мендель сделал около 30 лет назад. Не будучи знакомыми ни друг с другом, ни с работами Менделя, все трое в 1900 году подготовили материалы к публикации; все трое, при работе с литературой на эту тему, к своему великому удивлению, натолкнулись на статью Менделя; все трое опубликовали свои материалы в том же 1900 году и, наконец, все трое сослались на публикацию Менделя, тем самым вручив ему пальму первенства и низведя свои работы до ранга лишь подтверждающих сделанное ранее открытие.

Некоторые биологи тут же нашли связь между генами, о которых говорил Мендель, и хромосомами, которые они видели под микроскопом. Первым между ними провел параллель американский цитолог Уолтер Уоллес Сеттон в 1904 году. Он обратил внимание на то, что хромосомы, как и гены, всегда парные и что в каждой паре одна хромосома наследуется от матери, а вторая — от отца. Единственное, что не укладывалось в эту аналогию, — это число хромосом: их количество было гораздо меньше, чем количество наследуемых признаков. В клетках человека, например, содержится 23 хромосомы, тогда как количество наследуемых признаков исчисляется тысячами. Из этого биологи сделали вывод: хромосомы — это не гены, каждая хромосома должна быть целым набором генов.

Очень скоро биологи нашли замечательный инструмент для изучения генов. Это был не физический прибор, а новая разновидность лабораторных животных. В 1906 году зоолог из Колумбийского университета Томас Хант Морган, который вначале весьма скептически относился к открытым Менделем законам наследования признаков, попробовал использовать в генетических экспериментах фруктовых мушек — дрозофил (*Drosophila melanogaster*).

Для изучения наследования генов фруктовые мушки являются гораздо более удобным объектом, чем, скажем, горох или какое-либо другое лабораторное животное. Они быстро размножаются,

дают многочисленное потомство, их легко выращивать тысячами без значительных затрат на корм, дрозофилы обладают множеством таких наследуемых признаков, за которыми легко следить, у них достаточно простой хромосомный аппарат — всего четыре пары хромосом на клетку.

На дрозофилах Морган и его сотрудники установили механизм наследования пола. Они обнаружили, что парные хромосомы самок фруктовых мушек идеально соответствуют друг другу, поэтому все их яйцеклетки, получая от каждой пары по хромосоме, идентичны. У самцов, однако, в одной из четырех пар одна из хромосом была нормальной, ее называли *X-хромосомой*, а другая — укороченной, ее называли *Y-хромосомой*. Это значит, что при образовании сперматозоидов половина из них получает X-хромосому, а вторая половина — Y-хромосому.

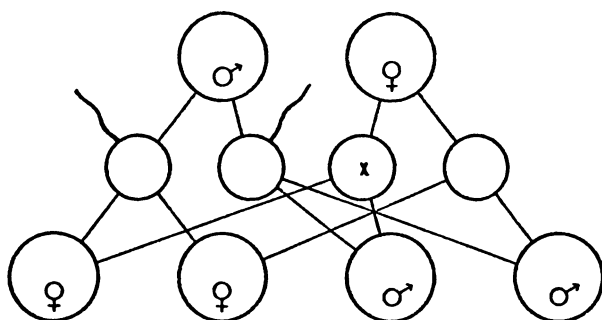
Разница в наборе хромосом позволяет объяснить, почему некоторые генные нарушения, или мутации, встречаются только у самцов. У самок, если и происходит нарушение в одном из генов, расположенных в X-хромосоме, парный ему ген способен исправить ситуацию. У самцов это происходит далеко не всегда, так как парная X-хромосоме Y-хромосома содержит гораздо меньше генов. Поэтому генные нарушения и проявляются у самцов.

Наиболее известным печальным примером такой болезни (их называют болезнями, *сцепленными с полом*) является *гемофилия* — заболевание, характеризующееся снижением свертываемости крови или вообще отсутствием такового. Больные гемофилией подвержены постоянному риску умереть от кровопотери при самом незначительном повреждении кровеносных сосудов или обречены на муки, связанные с внутренними кровотечениями. У женщин, имеющих в X-хромосоме ген, вызывающий гемофилию, это заболевание не проявляется, вероятнее всего, из-за того, что парный ему ген в парной X-хромосоме нормальный. Такие женщины являются носителями гена гемофилии. При образовании у такой женщины яйцеклеток половина из них будет содержать нормальную X-хромосому, а другая половина — гемофилическую.

Если яйцеклетка с гемофилической X-хромосомой оплодотворится сперматозоидом с X-хромосомой от здорового мужчины, то ребенок будет девочкой, у которой гемофилия не разовьется, но девочка будет носителем гена этого заболевания. Если же яйцеклетка с гемофилической X-хромосомой оплодотворится сперматозоидом с Y-хромосомой от здорового мужчины, то гену гемофилии ничто не будет противостоять и в результате родится мальчик, больной гемофилией.

По закону вероятности половина сыновей женщины, носительницы гена гемофилии, будут больными, половина дочерей станут носительницами дефектного гена.

Самой известной в истории носительницей гена гемофилии была английская королева Виктория. Только один из четверых



Комбинация X- и Y-хромосом

Знак ♂ (щит и стрела) обозначает мужскую особь, знак ♀ (зеркало с ручкой) — женскую

ее сыновей, старший Леопольд, страдал гемофилией. Эдуард VII, который продолжил династию монархов, был здоров, поэтому гемофилии в английской королевской семье нет и поныне. Однако двум дочерям королевы Виктории ген гемофилии передан. У одной из них родилась дочь, которая также стала носительницей злополучного гена и на которой женился российский царь Николай II. В результате его единственный сын страдал гемофилией. Этот факт изменил ход истории не только в России, но и во всем мире. Благодаря своему положительному влиянию на больного мальчика монах Григорий Распутин стал влиятельным лицом при царском дворе, что вызвало недовольство придворных особ и со временем привело к отказу Николая от трона. У второй дочери Виктории была дочь, также носительница гена гемофилии, который она передала в испанскую королевскую семью. Из-за того, что случаи гемофилии встречались в семьях испанских Бурбонов и российских Романовых, гемофилию иногда называют королевской болезнью.

Другое заболевание, сцепленное с полом, правда, более редкое, чем гемофилия, — *дальтонизм* — опять же, как правило, встречается у мужчин. И вообще, замена одной X-хромосомы на Y-хромосому, определяющую развитие черт, характерных для мужского организма, делает мужчин более уязвимыми к воздействию внешних факторов. В результате женщины живут, в среднем, на 3—7 лет дольше мужчин. Полноценная 23-я пара хромосом делает женский организм в известном смысле биологически более сильным.

X- и Y-хромосомы, их еще называют *половые хромосомы*, размещены в конце кариотипа, хотя X-хромосома и одна из самых длинных. Существует довольно большое количество заболеваний, связанных с полом, поэтому может создаться неверное впечатление, что нарушения хромосомного аппарата чаще локализуют-

ся именно в половых хромосомах. Вероятнее всего, с патологией со стороны половых хромосом мы чаще сталкиваемся не оттого, что именно они, как правило, страдают при неправильном митозе, а потому, что нарушения в этих хромосомах менее пагубно сказываются на плоде, поэтому и большее количество младенцев с подобными врожденными патологиями появляется на свет.

Одним из нарушений со стороны половых хромосом, привлечшим наибольшее внимание, является лишняя Y-хромосома в кариотипе клеток мужского организма. Набор половых хромосом у таких мужчин будет XYY. Они яркие личности, высокие, сильные, но такие мужчины неуправляемы, им свойственны жестокость и склонность к насилию. Среди них встречается много преступников. В Австралии в 1968 году одного убийцу даже оправдали на основании того, что он имел XYY-набор половых хромосом и потому якобы не был в состоянии контролировать свои поступки. Около 4 процентов мужчин, заключенных в одной из шотландских тюрем, имели XYY-набор хромосом, тогда как, согласно подсчетам некоторых специалистов, комбинация XYY-хромосом встречается у одного на каждые 3000 мужчин. (Другими словами, среди заключенных мужчины с XYY-набором хромосом встречаются в 120 раз чаще. — *Примеч. пер.*)

Принимая во внимание этот факт, а также и то, что многие наследственные заболевания проявляются не сразу, было бы неплохо ввести в практику проверку состояния хромосомного аппарата у каждого новорожденного. (В России существуют специальные генетические консультации, в которые молодые люди, желающие создать семью, могут обратиться на предмет прогнозирования наследственных заболеваний у их будущих детей. — *Примеч. пер.*)

Исследования генетиков, проведенные на фруктовых мушках, показали, что признаки не всегда наследуются независимо, как постулировал Мендель. Случайно получилось так, что гены тех семи признаков, наследование которых он изучал, локализовались в разных хромосомах. Морган обнаружил, что если гены, которые управляют различными признаками, находятся в одной хромосоме, то такие признаки наследуются вместе (подобно путешествию из города в город двух человек, сидящих в одном автомобиле).

Однако такая генетическая связь не является постоянной. Как один из пассажиров может сменить автомобиль, так и одна из хромосом может случайно наложиться на другую и поменяться с нею фрагментами. Такой перекрест хромосом, или *кроссинговер*, иногда происходит при делении клеток, и тогда одни связанные признаки расщепляются, чтобы тут же стать связанными с дру-

гими признаками. Например, есть разновидность дрозофил, у которых красные глаза и изогнутые крылышки. При скрещивании их с дрозофилами, у которых белые глаза и короткие крылышки, обычно получается потомство, копирующее родителей: в нем есть особи с красными глазами и изогнутыми крылышками и особи с белыми глазами и маленькими крылышками. Но иногда в результате скрещивания получаются особи с красными глазами и маленькими крылышками и особи с белыми глазами и изогнутыми крылышками. Это результат кроссинговера. Сочетание белых глаз и коротких крылышек будет сохраняться у следующих поколений, пока не произойдет следующее скрещивание хромосом.

Попробуйте нарисовать хромосому с геном красных глаз на одном конце и геном изогнутых крылышек на другом. Допустим, что в середине хромосомы по соседству расположены два гена, контролирующие два других признака. Безусловно, вероятность разрыва хромосомы в точке, соединяющей два этих соседних гена, будет гораздо меньше, чем сумма вероятностей разрыва хромосомы во всех остальных точках между генами, расположенными на противоположных концах хромосомы. Отмечая частоту расщепления различных пар связанных признаков при кроссинговере, Морган и его коллеги смогли установить расположение генов относительно друг друга в хромосомах и, таким образом, составить для дрозофилы *хромосомные карты*, на которых отмечена локализация генов. Выявленная таким способом локализация гена получила название *локус гена*.

Анализ хромосомных карт, а также изучение обнаруженных в клетках слюнных желез дрозофил гигантских хромосом, которые в несколько раз больше обычных, позволили установить, что у насекомых в хромосомных парах содержится, как минимум, 10 000 генов. Это означало, что каждый ген имеет молекулярную массу, равную приблизительно 60 миллионам. Исходя из этого, хромосомы человека, которые по размерам больше хромосом дрозофил, могут содержать от 20 000 до 90 000 генов в каждой хромосомной паре или всего до 2 миллионов на клетку.

За проделанную работу в области генетики фруктовых мушек Морган в 1933 году получил Нобелевскую премию по физиологии и медицине.

Последние исследования генов дают надежду на то, что со временем появится возможность анализировать и исправлять генетический материал конкретного человека. Это позволит или предупреждать проявление патологий, связанных с хромосомными аномалиями, или корректировать состояние человека, если такая патология уже проявилась. Однако подобная генная инженерия потребует тщательного составления хромосомных карт человека, что представляет собой задачу несравненно более сложную, чем составление подобных карт для дрозофилы. Задача эта

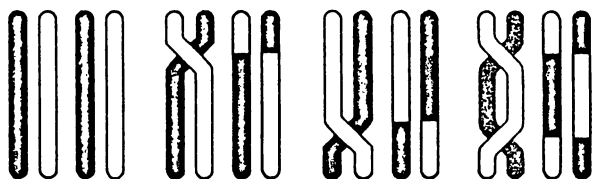
несколько упростилась после того, как в 1967 году Говард Грин, сотрудник Нью-Йоркского университета, получил гибрид клеток, содержащих хромосомы человека и мыши. Правда, через несколько циклов деления в клетках сохранилось лишь несколько человеческих хромосом.

Следующий шаг в изучении генов и в поисках способов управлять ими был сделан в 1969 году, когда американский биохимик Джонатан Беквит с коллегами впервые в истории генетики выделил ген. Этот ген, контролирующий метаболизм сахаров, был выделен из кишечной палочки.

Иногда с генами неожиданно происходят поломки — мутации (частоту возникновения таких нарушений генетического аппарата можно вычислить). Мутации проявляются в появлении нехарактерных признаков, таких, как, например, короткие ноги у овец на ферме Райта. В природе мутации происходят довольно редко. В 1926 году генетик Герман Джозеф Мюллер, который работал вместе с Морганом, для того чтобы ускорить изучение наследования приобретенных признаков, придумал способ искусственно вызывать мутации у дрозофил. Он обнаружил, что поломки генов могут вызывать рентгеновские лучи. Открытие Мюллера значительно облегчило изучение мутаций, за что он и был в 1946 году удостоен Нобелевской премии в области физиологии и медицины.

Однако исследования Мюллера дали основания ученым забить тревогу относительно будущего человека как вида. Да, действительно, мутации являются движущей силой эволюции. Являясь причиной возникновения новых признаков, они помогают виду лучше приспособиться к окружающей среде. Но это утверждение справедливо только в отношении мутаций, приносящих пользу. Большинство же мутаций, по крайней мере 99 процентов их, являются вредными, а некоторые даже летальными. В действительности даже на первый взгляд не очень опасные мутации могут привести к вымиранию вида, так как их носители каждый раз будут оставлять меньше потомства, чем нормальные особи. К тому же мутации могут вызывать самые различные заболевания, которые будут передаваться из поколения в поколение. Более того, появление новых мутаций, новых дефективных генов будет постоянно увеличивать тяжесть бремени, лежащего на каждом виде животных.

Американский генетик, выходец из России, Феодосий Добжанский в исследованиях, проведенных в 30—40-х годах XX века, установил, что в нормальной популяции существует большое количество вариаций генов, среди которых есть немало и очень опасных. Высокая вариабельность генов, по сути, и является движущей силой эволюции, а наличие среди них опасных (*мутационное давление*) вызывает неприятные последствия в будущем.



Взаимный обмен участками парных хромосом, приводящий к рекомбинации генов

Достижения современной цивилизации, как мы можем убедиться, способствуют усилению мутационного давления. Во-первых, развитие медицины и повышение уровня социальной защищенности компенсирует воздействие вредных мутаций, во всяком случае, в том, что касается аспекта воспроизводства. Очки компенсируют дефекты зрения, инсулин помогает выжить людям, страдающим диабетом (это заболевание наследственное), и т. д. Таким образом, люди, несущие в своих клетках дефектные гены, передают их по наследству последующим поколениям. Альтернативные варианты — позволить таким людям умереть в молодом возрасте, или стерилизовать их, или изолировать от здоровой популяции — безусловно немыслимы, за исключением, конечно, случаев изоляции идиотов или параноиков, одержимых мыслью об убийстве. Отсюда следует, что человечество достаточно сознательно несет бремя мутационного давления, и причины этого ясны.

Кроме того, что гораздо менее оправданно, человек подвергает себя совершенно не нужному воздействию радиации. Исследования генетиков убедительно показали, что даже самое незначительное повышение радиационного фона вызывает в популяции увеличение частоты возникновения мутаций. С 1895 года человечество стало подвергаться все возрастающему радиационному воздействию, которого не испытали на себе предыдущие поколения. Безусловно, наши предки всегда испытывали действие солнечной радиации, естественной радиации почвы и космических лучей. Но сегодня мы широко используем в медицине рентгеновские лучи, мы создаем запасы радиоактивных материалов, мы создаем искусственные изотопы ужасающей радиационной мощности, мы не только создали ядерное оружие, но и успели испытать его. Все это повышает радиационный фон.

Никто конечно же не станет утверждать, что не следует проводить исследования в области ядерной физики или что следует запретить применение рентгеновских лучей в медицине или зубоврачебной практике. Но опасность их использования следует иметь в виду, а воздействие их сводить к минимуму; например, не слишком часто подвергаться рентгенологическим исследованиям и, по крайней мере, не забывать при этом закрывать область

гениталий свинцовым фартуком. Каждому также следует вести индивидуальную запись полученной дозы рентгеновского облучения, с тем чтобы можно было подсчитать общую дозу и не переступить допустимый предел.

Конечно, генетики не могут быть уверены в том, что закономерности, выявленные в экспериментах на растениях или насекомых, можно перенести и на человека. Безусловно, у человека мало чего общего с горохом или фруктовой мушкой, но тем не менее изучение наследования некоторых признаков у человека показало, что оно подчиняется тем же правилам. Лучшим примером этому является закономерность в наследовании группы крови.

Врачи с давних времен делают больным переливание крови. Было время, когда людям, пострадавшим от большой кровопотери, даже пытались переливать кровь от животного. Но это всегда плохо заканчивалось. Переливание даже человеческой крови иногда приводило к гибели пациента, поэтому было время, когда законы запрещали врачам проводить эту процедуру. В 90-х годах XIX века австрийский иммунолог Карл Ландштайнер открыл, что кровь разных людей можно поделить на группы и что есть группы, которые несовместимы друг с другом. Он обнаружил, что иногда при смешивании в пробирке цельной крови одного человека с сывороткой крови другого человека (сыворотка — это жидкая часть крови, которая остается после удаления из нее красных кровяных телец и свертывающих факторов) красные клетки цельной крови слипаются. Конечно же, если такое произойдет при переливании, то все может очень плохо закончиться и даже привести пациента к гибели, так как слипшиеся клетки могут забить кровеносные сосуды и остановить кровоток в жизненно важных органах. Ландштайнер также обнаружил, что такое происходит не всегда: иногда смешивание крови не приводит к образованию этих опасных скоплений клеток.

В 1902 году Ландштайнер опубликовал результаты исследований, которые позволили ему утверждать, что существует четыре группы человеческой крови, которые он назвал А, В, АВ и 0. У каждого конкретного человека кровь принадлежит только к одной из этих групп. Безусловно, если кровь двух человек принадлежит к одной группе, ее можно переливать от одного другому без всякого риска. Более того, группу 0 можно переливать людям с тремя остальными группами, А, В и АВ, а группы А и В можно переливать группе АВ. Но если перелить кровь группы АВ людям с группами крови А или В, или перелить кровь людей с группами А или В друг другу, или перелить человеку, у которого группа крови 0, кровь любой другой группы — это приведет к слипанию (агглютинации) красных клеток крови. (В наши дни во избежа-

ние нежелательных серологических реакций пациентам переливают кровь только их собственной группы.)

В 1930 году Ландштайнер (к тому времени он уже стал гражданином Соединенных Штатов Америки) за проведенные им исследования получил Нобелевскую премию в области физиологии и медицины.

Генетики установили, что все четыре группы крови (как, впрочем, и другие ее разновидности, в частности различие по резус-фактору) передаются по наследству в полном соответствии с законами Менделя. По всей видимости, существует три аллели, ответственные за принадлежность крови к группам 0, А и В. Если кровь обоих родителей принадлежит к группе 0, то и все их дети станут обладателями крови группы 0. Если у одного из родителей группа крови А, а у другого 0, то у детей будет группа крови А, так как аллель группы А доминирует над аллелью 0. Точно так же аллель В доминирует над аллелью 0. Но аллели А и В не могут доминировать одна над другой, поэтому у родителей, обладающих этими группами крови (А и В), появятся дети с группой АВ.

Законы Менделя столь точны, что установление групп крови можно использовать (и это используется) как тест на установление отцовства. Если у матери группа крови 0, а у ребенка В, то у отца обязательно должна быть группа крови В, так как аллели В в *генотипе* (генотип — совокупность генов у данного организма. — *Примеч. пер.*) ребенка больше неоткуда было взяться. Если у мужа этой женщины оказалась группа крови 0 или А, то это означает, что или женщина была неверна мужу, или ребенка подменили в роддоме. Если у женщины группа крови 0, а у ребенка В и эта женщина требует признать отцом ее ребенка мужчину, кровь которого принадлежит к группе 0 или А, то это означает, что требования ее совершенно необоснованны: она либо откровенно лжет, либо что-то путает. Безусловно, этот тест несовершенен: с его помощью, в случае отрицательного результата, можно только исключить отцовство, но доказать факт отцовства в случае положительного результата никак нельзя. Даже если у мужа этой женщины или мужчины, которому она предъявляет требования, кровь принадлежит к группе В, это ничего не доказывает: любой мужчина с группой крови В или АВ может быть отцом ребенка.

Применимость законов наследования Менделя к людям подтверждается также наличием у человека признаков, связанных с полом. Дальтонизм и гемофилия — заболевания, встречающиеся почти всегда у мужчин, и наследуются они согласно тем же закономерностям, что и связанные с полом признаки у дрозофил.

Конечно же у некоторых может возникнуть вопрос: нельзя ли людям с подобными наследственными патологиями запретить иметь детей и тем самым навести порядок в *генофонде* (генофонд — совокупность генов у особей данного вида. — *Примеч. пер.*). Путем направленного спаривания человечество можно ус-

вершенствовать, как, например, усовершенствовали породы крупного рогатого скота. Эта мысль не нова ни в каком смысле. Древние спартанцы еще 2500 лет назад не только полагали, что эта идея осуществима, но и пытались реализовать ее. Относительно недавно, немногим более 100 лет назад, эту идею воскресил английский ученый Фрэнсис Гальтон (двоюродный брат Чарльза Дарвина). Работая над своей программой, он в 1883 году ввел в научный лексикон слово «евгеника», что в переводе с греческого означает «хорошее происхождение».

Гальтон ничего не знал об открытии Менделем законов наследования признаков. Он не понимал, что признаки могут внешне не проявляться, но передаваться как рецессивные аллели. Он не понимал, что некоторые признаки наследуются целыми группами и что в таком случае нельзя избирательно избавиться от какого-либо одного нежелательного признака, не потеряв при этом другие, важные для организма. Он также не знал, что, если даже удастся избавиться от нежелательных признаков, мутации могут вызвать их обратное появление.

Генетика человека — необычайно сложный предмет, и маловероятно, что он будет изучен с должной скрупулезностью и полнотой в обозримом будущем. Дело в том, что люди приносят потомство не так часто и не в таком количестве, как фруктовые мушки; нельзя также в экспериментальных целях проводить спаривание людей, нельзя осуществлять лабораторный контроль над этим процессом; проблема усложняется еще и тем, что у человека гораздо больше хромосом, чем у дрозофилы, и соответственно гораздо больше наследуемых признаков; дело еще и в том, что многие признаки, в которых человек заинтересован более всего — дух созидания, интеллект, моральные силы, — зависят не только от качества генов, но и от влияния среды. В силу всех вышеперечисленных причин в области генетики человека ученые не могут быстро достичь тех высот, которых они достигли, изучая генетику дрозофилы.

Евгеника остается мечтой, и недостаток наших знаний делает эту мечту туманной, иллюзорной. А те, кто сегодня наиболее оголтело выступает за претворение евгенических программ в жизнь, чаще являются расистами или эксцентриками, дискредитируя тем самым не только евгенику как научную дисциплину, но и сам термин «евгеника».

Но каким образом ген вызывает проявление того признака, за который он отвечает? С помощью какого механизма он делает так, что у гороха появляются желтые семена, у фруктовой мушки — изогнутые крылья, у человека — голубые глаза?

Современные биологи считают, что гены вызывают свои эффекты посредством контроля над ферментами. Одним из наибо-

лее подходящих примеров является цвет глаз, волос и кожи. Цвет — голубой или карий, пепельный или черный, белый или смуглый, а также все промежуточные оттенки — зависит от наличия в радужке глаза, волосах или коже пигмента, который называется *меланин* (от греческого слова, означающего «черный»). Меланин образуется из аминокислоты тирозина посредством целой серии реакций, большинство из которых на сей день достаточно хорошо изучены. В этих реакциях участвует большое количество ферментов, и количество образующегося меланина зависит от качества этих ферментов. Например, одним из ферментов, тем, который катализирует две первые реакции, является *тирозиназа*. Есть специальный ген, который контролирует образование этого фермента в клетке. Контролируя образование тирозиназы, этот ген автоматически определяет и цвет глаз, и цвет волос, и цвет кожи. И поскольку этот ген передается из поколения в поколение, цветом глаз, волос и кожи дети становятся похожи на родителей. Если с геном, контролирующим синтез тирозиназы, произойдет мутация, то меланин в клетках образовываться не будет и человек станет альбиносом. Таким образом, дефекта одного-единственного гена и, как следствие, отсутствия одного-единственного фермента вполне достаточно, чтобы вызвать существенные изменения индивидуальных признаков.

Если допустить, что появление тех или иных признаков организма зависит от синтеза ферментов, что, в свою очередь, контролируется генами, то возникает другой вопрос: как работают гены? К сожалению, даже организм дрозофилы является слишком сложным, чтобы можно было основательно в нем разобраться. В 1941 году американские биологи Джорж Уэлс Бидл и Эдуард Лори Тейтем начали проводить подобное исследование на простом организме, который как нельзя лучше подходил для их целей. Это была обычная хлебная плесень, научное название которой *Neurospora crassa*.

Neurospora не очень требовательна к питанию. Она достаточно хорошо растет на среде, куда входят только сахар, неорганические вещества, содержащие азот и серу, и различные минералы. Помимо сахара в питательную среду должно входить еще одно органическое соединение — это витамин, название которому *биотин*.

На определенной стадии своего жизненного цикла плесень образует восемь спор, абсолютно генетически одинаковых. В каждой споре содержится семь хромосом. Как и в половых клетках высших организмов, хромосомы в спорах единичные, не парные. Следовательно, если в какой-либо из хромосом произойдут изменения, они обязательно проявятся визуально, поскольку нет парного гена, который мог бы замаскировать повреждение. Бидл и Тейтем подвергали *Neurospora* воздействию рентгеновских лучей, чтобы вызвать мутации, после чего наблюдали за проявлением этих мутаций.

Если после получения определенной дозы радиации споры по-прежнему хорошо росли на обычной питательной среде, значит, мутаций не произошло или, по крайней мере, они не отразились на потребностях организма в питательных компонентах. Если после облучения споры не росли на обычной питательной среде, то ученые выясняли, остались споры живыми или они погибли. Для этого их помещали на обогащенную среду, содержащую все витамины, аминокислоты и другие питательные компоненты, которые могли понадобиться спорам. Если споры росли на обогащенной среде, то это означало, что облучение рентгеновскими лучами вызвало мутации, которые изменили потребности *Neurospora* в питательных компонентах. По крайней мере, споры стали нуждаться хотя бы в одном из компонентов, который отличает обогащенную питательную среду от обычной. Но что это за компонент?

Чтобы ответить на этот вопрос, исследователи стали последовательно выращивать *Neurospora* на средах, в которых отсутствовал один из компонентов, находящихся в обогащенной среде. Они пробовали исключать по очереди все аминокислоты и все витамины или все аминокислоты, кроме одной или двух, и все витамины, кроме одного или двух. Поступая подобным образом, ученые суживали круг претендентов на роль тех питательных компонентов, которые стали необходимы *Neurospora* в результате мутации.

Иногда выходило, что вследствие мутации появлялась потребность в аминокислоте аргинине. Обычная культура плесени способна сама синтезировать аргинин из сахара и солей аммония. Следовательно, в результате генетических изменений *Neurospora* потеряла способность синтезировать аргинин, а без него она не могла синтезировать и белки, необходимые для ее роста.

Самый простой способ объяснить данную ситуацию — это предположить, что рентгеновские лучи повредили ген, ответственный за образование фермента, участвующего в синтезе, плесенью аргинина. Лишившись нормального гена, *Neurospora* утратила способность производить фермент. А нет фермента — нет и аргинина.

Бидл и его коллеги стали искать связь между генами и особенностью метаболизма у плесени, пытаясь выяснить, сколько генов участвует в синтезе аргинина. Как это можно сделать? Предположим, что два гена — А и Б — ответственны за два фермента, необходимых для синтеза аргинина. Следовательно, мутация в одном из них, в А или Б — все равно, лишит плесень способности синтезировать эту аминокислоту. Допустим, что мы облучили две колонии *Neurospora*, так что каждая из них стала нуждаться в присутствии аргинина в среде. Если нам повезло, то в одной колонии облучение вызвало мутацию гена А, оставив ген Б нормальным, а во второй видоизменился ген Б, тогда как ген

А сохранился прежним. Для того чтобы убедиться, что это действительно так, следует скрестить два этих мутанта на стадии размножения плесени. Если две линии *Neurospora* действительно изменились так, как мы предположили, то при рекомбинации хромосом могут образоваться некоторые споры, у которых гены А и Б будут неизмененными. Другими словами, некоторые потомки двух мутантов, не способных синтезировать аргинин, *смогут* синтезировать его. И действительно, проделав подобный эксперимент, ученые убедились, что все так и произошло.

Можно исследовать и более тонкие особенности метаболизма у *Neurospora*. Например, в результате воздействия рентгеновских лучей получились три линии мутантов, не способных синтезировать аргинин при выращивании их на обычной среде. Одна линия росла только тогда, когда в среду добавляли сам аргинин, другая — при добавлении в питательную среду аргинина или похожего на него вещества цитруллина. Третья линия росла на среде, в которую был добавлен или аргинин, или цитруллин, или третье вещество, похожее на аргинин, название которому *орнитин*.

Какой вывод можно было сделать из этого наблюдения? Скорее всего, эти три вещества — аргинин, цитруллин и орнитин — являются конечными продуктами трех последовательных реакций, результатом которых является образование аргинина. Для осуществления каждой реакции нужен свой фермент. Поскольку, согласно данным химического анализа, в ряду «орнитин—цитруллин—аргинин» наблюдается постепенное усложнение молекулы, то, вероятнее всего, один фермент осуществляет синтез орнитина из какого-то более простого вещества, второй фермент способствует превращению орнитина в цитруллин, а третий ответственен уже за образование аргинина из цитруллина. Если вследствие мутации одна из линий *Neurospora* потеряла способность синтезировать орнитин, но сохранила два других фермента, необходимых для синтеза аргинина, то для дальнейшего развития этой линии необходимо поместить плесень на среду, содержащую орнитин, из которого затем последовательно синтезируются цитруллин и необходимый для роста колонии аргинин (безусловно, такая колония будет успешно расти и на средах, содержащих цитруллин и сам аргинин). Следуя той же логике, можно заключить, что вторая линия *Neurospora* потеряла вследствие мутации способность синтезировать фермент, переводящий орнитин в цитруллин, и поэтому для ее роста в среде обязательно должен присутствовать цитруллин или сам аргинин. Ну и наконец, в третьей линии плесени, которая растет исключительно на среде, содержащей аргинин, совершенно очевидно, мутировал ген, ответственный за синтез аргинина из цитруллина.

Анализируя особенности различных линий мутантов, которые были получены вследствие воздействия на *Neurospora* рентгенов-

ских лучей, Бидл и его сотрудники основали новый раздел генетики — так называемую *химическую генетику*. Используя свой метод, они установили пути синтеза многих важных соединений в организме. Бидл предложил концепцию «один ген — один фермент», согласно которой один ген в клетке ответственен за образование в ней одного фермента. Эта концепция была принята всеми генетиками. Труд Бидла и Тейтема был высоко оценен — в 1958 году они получили Нобелевскую премию по физиологии и медицине.

Работы Бидла натолкнули биохимиков на мысль о том, что изменения, происходящие в белках у человека, также контролируются генами и являются проявлением мутаций. Неожиданно подвернулся случай, который позволил проверить это предположение.

В 1910 году чикагский врач по имени Джеймс Бриан Херрик описал заболевание, которому впоследствии дали название *серповидноклеточная анемия*. Исследуя кровь больного негритянского подростка под микроскопом, Херрик обнаружил, что красные клетки, обычно круглые, имеют странную форму: они были изогнутыми, многие по форме напоминали серп луны. Затем и другие врачи стали замечать это необычное явление, которое, как ни странно, встречалось при исследовании крови исключительно негритянского населения. Мало-помалу исследователи пришли к заключению, что серповидноклеточная анемия — заболевание наследственное, так как проявляется оно в полном соответствии с законами наследования Менделя. Вероятнее всего, существует ген, при наследовании которого от обоих родителей и появляются красные клетки крови необычной формы. В отличие от обычных красных клеток серповидные не способны переносить кислород, да и время их жизни гораздо короче, поэтому в крови возникает дефицит красных клеток. Человек, получивший пару таких генов в наследство, как правило, умирает от этого заболевания еще в детстве. Но если к ребенку такой ген переходит только от одного из родителей, заболевание не проявляется. Изменение формы красных клеток у такого человека проявляется только при сильном снижении содержания кислорода в воздухе, как это, например, наблюдается на большой высоте. У таких людей, как говорят, есть признаки *серповидноклеточности*, но болезни, как таковой, нет.

Исследования показали, что около 9 процентов негритянского населения Америки имеет признаки серповидноклеточности и 0,25 процента больны серповидноклеточной анемией. В некоторых районах Центральной Африки носителями гена серповидных клеток является четвертая часть всего населения. Вероятно, этот ген появился в Африке вследствие мутации и с тех пор передает-

ся лицам африканского происхождения. В связи с этим возникает вопрос: если заболевание смертельно, то почему дефектный ген сохранился до сего времени? В результате исследований, проведенных в Африке в 50-х годах XX века, ответ на этот вопрос был найден. Как оказалось, лица с признаками серповидноклеточности, у которых только один дефектный ген, обладают более выраженным иммунитетом к малярии по сравнению с нормальными людьми. Видимо, серповидные клетки чем-то не устраивают малярийных паразитов, и они в них не селятся. Как свидетельствуют результаты исследований, в районах, где свирепствует малярия, у детей с одним геном серповидных клеток шансов дожить до детородного возраста на 25 процентов больше, чем у их нормальных сверстников. То есть наличие непарного гена серповидных клеток (только обязательно непарного — парный вызовет анемию) дает значительные преимущества. Единство двух противоположностей — защитное действие непарного гена и в то же время устранение его в парном варианте (такие люди не выживают) — привело к образованию некоего равновесия, которое поддерживает сохранение гена в популяции на определенном уровне.

В тех районах, где проблема малярии стоит не так остро, ген серповидных клеток встречается гораздо реже. В Соединенных Штатах этот ген вначале встречался у 25 процентов негритянского населения. За счет смешения с местным населением и выходцами из Европы ген должен был бы сохраниться у 15 процентов выходцев из Африки. Но, как мы знаем, он присутствует только у 9 процентов негров — граждан США. Следовательно, существует тенденция к исчезновению гена серповидных клеток у африканцев, населяющих Соединенные Штаты, и, вероятнее всего, эта тенденция сохранится. Если народы Африки расправятся с малярией, то и там этот ген со временем перестанет существовать.

После того как в 1949 году Лайнус Полинг со своими коллегами из Высшего технического училища (Бидл также в нем работал) показал, что наличие гена серповидных клеток отрицательно влияет на гемоглобин красных клеток крови, этим геном заинтересовались биохимики. Полинг установил, что у лиц с парным геном серповидных клеток гемоглобин отличается от гемоглобина здоровых людей. Ученый доказал это с помощью метода, название которому *электрофорез*. Сущность этого метода заключается в том, что белковая молекула несет на себе определенный заряд, поэтому при помещении ее в электрическое поле она будет двигаться в нем со скоростью, пропорциональной ее заряду. Различные белковые молекулы имеют различные заряды. Следовательно, при помещении в электрическое поле смеси белковых молекул, имеющих разные заряды, они будут двигаться с различными скоростями, а следовательно, произойдет их разде-

ление. (Этот метод разработал шведский химик Арне Вильгельм Карин Тизелиус, который в 1948 году за ценный вклад в науку был удостоен звания лауреата Нобелевской премии.)

Проведя электрофоретический анализ, Полинг обнаружил, что гемоглобин людей, страдающих серповидноклеточной анемией, отличается от нормального. Этот гемоглобин был обозначен буквой «S». Гемоглобин здоровых взрослых людей обозначили буквой «A», а гемоглобин утробного плода, или *эмбриональный гемоглобин* — буквой «F».

После открытия Полинга биохимии, помимо гемоглобина серповидных клеток, нашли и другие аномальные гемоглобины, которые они обозначили буквами от «C» до «M». Вероятно, ген, ответственный за производство гемоглобина, мутировал по нескольким направлениям, при этом образовались несколько аллелей, каждая из которых явилась причиной появления новой разновидности гемоглобина. Аномальные гемоглобины хуже выполняют функции этого белка в обычных условиях, но, вероятно, они оказались весьма полезными в необычных условиях, в особых обстоятельствах. Как гемоглобин S у людей с непарой аллелью повысил устойчивость человека к малярии, так, например, и гемоглобин C в сочетании с непарной его аллелью повышает возможности организма существовать в условиях дефицита железа.

Поскольку разные типы гемоглобина несут на себе различные заряды, их полипептидные цепи должны как-то отличаться по составу аминокислот, которые и определяют наличие заряда на белке. Различия могут быть весьма незначительными, поскольку аномальные гемоглобины выполняют все функции, свойственные их нормальному предшественнику. Вероятность установить место повреждения огромной молекулы гемоглобина, состоящей из 600 аминокислот, очень мала. Тем не менее американский биохимик, немец по происхождению, Вернон Мартин Ингрэм с коллегами разрешил проблему химической структуры аномальных гемоглобинов.

Вначале они с помощью ферментов, переваривающих белки, расщепили гемоглобины A, S и C на пептиды различной величины. Затем фрагменты каждого гемоглобина разделили с помощью электрофореза на бумаге (в такой модификации электрофореза пептиды под действием электрического поля движутся по влажной фильтровальной бумаге, этот вариант имеет много общего с хроматографией на бумаге). Когда, действуя таким образом, исследователи проанализировали фрагменты всех трех гемоглобинов, они обнаружили, что гемоглобины A, S и C различаются только одним пептидом, скорость движения которого в каждом случае была своя.

Они продолжили изучение этого пептида, расщепляя его на аминокислоты. Как оказалось, пептиды всех трех гемоглобинов

состояли из 9 одинаковых, кроме одной, аминокислот, расположенных в одном и том же порядке:

Гемоглобин А: Гис-Вал-Лей-Лей-Тре-Про-*Глу*-Глу-Лиз

Гемоглобин S: Гис-Вал-Лей-Лей-Тре-Про-*Вал*-Глу-Лиз

Гемоглобин С: Гис-Вал-Лей-Лей-Тре-Про-*Лиз*-Глу-Лиз

То есть три гемоглобина различались только по одной аминокислоте, находящейся в седьмом положении одного и того же пептида: в гемоглобине А это была глутаминовая кислота, в гемоглобине S — валин, в гемоглобине С — лизин. Поскольку остаток глутаминовой кислоты несет на себе отрицательный заряд, остаток лизина — положительный, а остаток валина вообще не имеет заряда, нет ничего удивительного в том, что поведение при электрофорезе у трех пептидов было различным: они обладают различными зарядами.

Но каким же образом столь незначительные изменения в химической структуре белка так радикально изменили его свойства? В нормальной красной клетке крови гемоглобина А много: он занимает приблизительно третью часть ее объема. Поэтому молекулы гемоглобина А очень плотно упакованы в клетке и у них нет пространства для свободного движения. Расположение молекул гемоглобина А столь тесное, что они находятся на грани *преципитации* (образования молекулярных агрегатов, слипания молекул. — *Примеч. пер.*) и выпадения в осадок. Одним из факторов, препятствующих преципитации, является заряд на поверхности молекулы. Если все молекулы имеют один и тот же заряд, они будут отталкиваться одна от другой и поэтому не смогут слипнуться. И чем больше будет величина заряда, тем сильнее молекулы будут отталкиваться друг от друга, тем менее вероятно будет образование осадка. Отталкивание у молекул гемоглобина S будет не столь выраженным, как у молекул гемоглобина А, поэтому и гемоглобин S менее растворим и более склонен образовывать преципитаты. Если парой аллели серповидных клеток является нормальный ген, то благодаря ему количество гемоглобина А в клетке будет достаточным для того, чтобы гемоглобин S находился в растворенном состоянии, хотя тот и находится на волоске от преципитации. Но если оба гена являются серповидноклеточными мутантами, то тогда будет образовываться только гемоглобин S, который не сможет оставаться в растворенном состоянии. Он образует кристаллический осадок, который искажает форму красных клеток крови, делая их серповидными, и лишает их возможности выполнять свою основную функцию транспорта кислорода.

Эта гипотеза позволяет объяснить, почему замена только одной аминокислоты в молекуле гемоглобина может стать причиной серьезного заболевания и, как правило, ранней гибели.

Альбинизм и серповидноклеточная анемия не единственные заболевания, которые обусловлены отсутствием одного фермента

или мутацией одного-единственного гена. Есть и такое наследственное заболевание, как *фенилкетонурия*, характеризующееся нарушением метаболизма и зачастую являющееся причиной умственного недоразвития. Это происходит из-за отсутствия всего одного фермента, необходимого для превращения фенилаланина в тирозин.

Существует и *галактоземия* — заболевание, проявляющееся в развитии катаракты и повреждении мозга и печени, что вызывается отсутствием фермента, превращающего галактозофосфат в глюкозофосфат.

Известны случаи заболевания, связанного с дефицитом ферментов, расщепляющих гликоген (разновидность крахмала, он синтезируется в клетках животных организмов) и превращающих его в глюкозу. Это заболевание приводит к избыточному отложению гликогена в печени и других тканях, что является причиной преждевременной гибели.

Можно привести примеры врожденных нарушений метаболизма, которые выражаются в неспособности организма синтезировать один или несколько жизненно важных ферментов. Концепцию о причине подобных заболеваний впервые выдвинул в 1908 году английский врач Арчибальд Эдвард Геррод, но она долгое время оставалась без внимания, пока в середине 30-х годов английский генетик Джон Бердон Сандерсон Холдейн не обратил на нее внимание ученых.

Подобные заболевания, как правило, вызываются рецессивным аллелем гена, ответственного за образование фермента. Если дефектным бывает только один ген, то благодаря его нормальному напарнику человек может более или менее нормально существовать (как в случае с непарной аллелью серповидноклеточной анемии). Опасность возникает, когда оба родителя несут один и тот же злополучный дефектный ген. Тогда два дефектных гена могут в оплодотворенной яйцеклетке объединиться, и будущий ребенок таких родителей становится потенциальной жертвой случая. Нечто наподобие русской рулетки. Вероятно, все мы в той или иной степени несем в себе тяжесть груза аномальных и даже опасных генов, присутствие которых обычно маскируется их нормальными напарниками. Поэтому становится совершенно понятным, почему генетики так обеспокоены радиацией и другими факторами, ускоряющими образование мутаций и тем самым увеличивающими бремя этого груза.

Нуклеиновые кислоты

Однако в действительности в пользу наследственности гораздо больше свидетельствуют не исключения из правил, а сами правила, то есть не впечатляющие проявления мутаций, которые

происходят относительно редко, а, наоборот, то, что в общем и целом наследование признаков происходит очень строго. Тысячелетиями из поколения в поколение гены продолжают копировать себя в одном и том же виде, продолжают участвовать в образовании одних и тех же ферментов. Иногда, правда, при копировании случаются ошибки, но они, повторяю, носят случайный характер. Гены редко ошибаются и вводят не ту аминокислоту в белок, где их сотни. Каким образом они с такой поразительной точностью неустанно копируют себя?

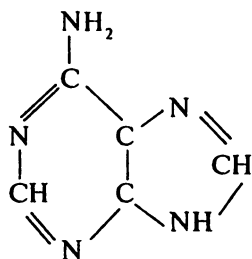
Ген состоит из двух основных компонентов: один из них белок, второй же по химической природе не является белком. И вот на этот второй компонент давайте и обратим сейчас наше внимание.

В 1869 году швейцарский биохимик Фридрих Мишер, проводя разрушение клеточных белков пепсином, обнаружил, что пепсин не действует на ядра клеток. Ядра при этом несколько сморщивались, но оставались целыми. Проведя химический анализ содержимого клеточных ядер, Мишер выяснил, что в них в основном находится вещество, содержащее фосфор, которое по химическим свойствам отличалось от белка. Он дал этому веществу название *нуклеин* (от слова «nucleus», что означает «ядро». — *Примеч. пер.*). Двадцать лет спустя, когда обнаружили, что у этого вещества ярко выражены свойства кислоты, его переименовали в *нуклеиновую кислоту*.

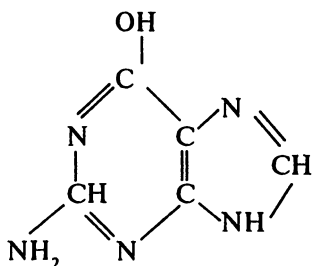
Мишер посвятил себя изучению этого неизвестного ранее вещества и со временем обнаружил, что особенно богаты им сперматозоиды (в клетках спермы ядра занимают основной объем). Он попытался выделить нуклеиновую кислоту. Оказалось, что легче всего ее можно получить из вилочковой железы животных (чаще используют латинское название вилочковой железы — *тимус*. — *Примеч. пер.*). Тем временем немецкий химик Феликс Хоппе-Зейлер, в лаборатории которого Мишер и совершил свое открытие и который лично убедился в правильности выводов своего ученика, прежде чем разрешить ему опубликовать результаты исследований, выделил нуклеиновую кислоту из дрожжевых клеток. Она отличалась по свойствам от нуклеиновой кислоты, которую Мишер выделил из тимуса, поэтому их даже стали называть *тимусная нуклеиновая кислота* и *дрожжевая нуклеиновая кислота*. Поскольку тимусная нуклеиновая кислота была выделена из животных клеток, а дрожжевая — из растительных, то вначале полагали, что различие химических свойств этих нуклеиновых кислот и определяет различие между животными и растениями.

Немецкий биохимик Албрехт Коссель, также ученик Хоппе-Зейлера, первым провел систематическое изучение химической структуры молекул нуклеиновой кислоты. Тщательно произведя ее гидролиз, он выделил несколько азотсодержащих соединений,

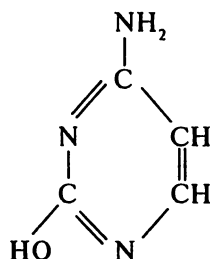
которым дал названия *аденин*, *гуанин*, *цитозин* и *тимин*. Формулы этих соединений сейчас известны:



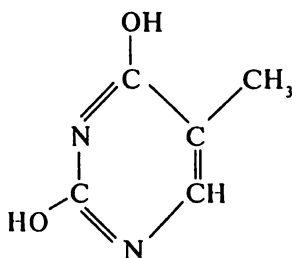
аденин



гуанин



цитозин



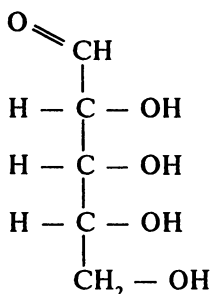
тимин

Структура, состоящая из двух сочлененных колец, которая присутствует в первых двух соединениях, имеет название *пуриновое кольцо*, а шестичленное кольцо, принадлежащее двум последним соединениям, — *пиримидиновое кольцо*. Таким образом, аденин и гуанин стали относиться к *пуринам*, а цитозин и тимин — к *пиримидинам*.

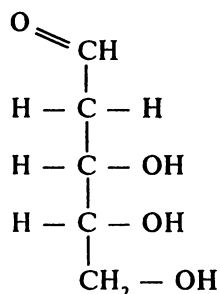
За эти исследования, которые дали начало многим последующим открытиям, Коссель в 1910 году получил Нобелевскую премию по физиологии и медицине.

В 1911 году американский биохимик, родившийся в России, Фиби Арон Теодор Левин, ученик Косселя, продолжил исследования учителя. Еще в 1891 году Коссель открыл, что в состав нуклеиновой кислоты входит углевод. Теперь же, 20 лет спустя, Левин установил, что углеводами, находящимися в составе нуклеиновых кислот, являются молекулы пятиатомных сахаров. (Это было сенсационное открытие: в то время все известные сахара, например глюкоза, содержали по шесть атомов углерода). Левин, продолжая работу дальше, показал, что две нуклеиновые кислоты — тимусная и дрожжевая — различаются по природе сахаров, входящих в их состав. Дрожжевая нуклеиновая кислота содержа-

ла *рибозу*, а тимусная — другой сахар, который отличался от рибозы отсутствием одного атома кислорода, поэтому его и называли *дезоксирибозой*. Формулы этих сахаров таковы:



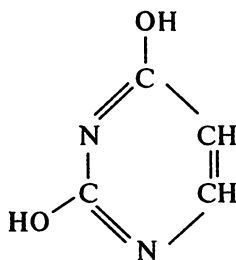
рибоза



дезоксирибоза

В соответствии с этим нуклеиновые кислоты получили названия *рибонуклеиновая кислота* (РНК) и *дезоксирибонуклеиновая кислота* (ДНК).

Помимо отличия в составе сахаров эти две нуклеиновые кислоты различались и по одному из пиримидинов: в РНК вместо тимина был *урацил*. Урацил по своей структуре очень похож на тимин, и это сходство вы легко увидите, если посмотрите на его формулу:



урацил

В 1934 году Левин показал, что нуклеиновые кислоты можно расчленить на повторяющиеся структурные единицы, в состав которых входят пурин или пиримидин, рибоза или дезоксирибоза и фосфатная группа. Комбинация этих трех соединений получила свое название — *нуклотид*. Левин выдвинул предположение, что нуклеиновые кислоты построены из нуклеотидов, подобно тому как и белки построены из аминокислот. Количественный анализ результатов исследований натолкнул его на мысль, что молекулы нуклеиновых кислот состоят из четырех нуклеотидных

блоков: первого — содержащего аденин, второго — содержащего гуанин, третьего — содержащего цитозин и четвертого — содержащего или тимин (в случае ДНК), или урацил (в случае РНК). Но, как оказалось позже, материал, который выделил Левин, представлял собой не нуклеиновые кислоты, а их фрагменты. К середине 50-х годов биохимии установили, что молекулярная масса нуклеиновых кислот может достигать 6 миллионов и что, таким образом, молекулы нуклеиновых кислот не только соизмеримы с размерами молекул белков, но и существенно превосходят их.

Точное строение нуклеотидов и способ, которым они соединяются между собой, установил британский биохимик Александр Робертус Тодд, который построил нуклеотиды из составляющих их частей и соединил эти нуклеотиды в единую молекулу, предварительно подобрав условия, при которых возможен только один вариант их соединения. За эту работу он в 1957 году получил Нобелевскую премию в области химии.

В результате исследований Тодда стало ясно, что в целом структура нуклеиновых кислот напоминает структуру белков. Основной структуры белка является полипептидная цепь, от которой в стороны отходят боковые группы индивидуальных аминокислот. В нуклеиновых кислотах сахара одного нуклеотида соединяются с сахарами другого посредством фосфатных групп, которые присоединены к обоим сахарам. Таким образом, основной молекулы нуклеиновой кислоты служит сахарно-фосфатная цепь, тянущаяся по всей длине молекулы. Наружу от этой цепи отходят пурины или пиримидины, по одному от каждого нуклеотида.

Применение методик окрашивания клеток позволило исследователям определить локализацию нуклеиновых кислот в клетке. Немецкий химик Роберт Фольген, используя красный краситель, который окрашивал ДНК, но не окрашивал РНК, установил, что ДНК в клетке находится в ядре, а точнее — в хромосомах. Он показал, что ДНК содержится не только в ядрах животных клеток, но и в ядрах растительных клеток. Окрасив РНК, он показал, что и эта нуклеиновая кислота содержится как в животных, так и в растительных клетках. Следовательно, нуклеиновые кислоты — обязательный компонент всех живых клеток.

Шведский биохимик Торбьёрн Касперсон разработал методику, позволившую ему удалять одну из нуклеиновых кислот (он обрабатывал ее ферментом, который разрушал нуклеиновую кислоту до растворимых фрагментов, которые легко вымывались из клетки) и, таким образом, целиком обратить внимание на другую, оставшуюся в клетке. Он научился фотографировать клетки в ультрафиолетовом свете — дело в том, что нуклеиновые кисло-

ны поглощают ультрафиолетовый свет гораздо сильнее, чем остальные компоненты клетки, — и выявлять, где в них содержится ДНК и РНК. Согласно результатам его исследований, ДНК содержалась только в хромосомах, а РНК — главным образом в неких внутриклеточных структурах, находящихся в цитоплазме. Небольшая часть РНК содержалась также и в *ядрышках*, структурных образованиях, локализованных в ядре. (В 1948 году Алфред Эзра Мирски, биохимик из Рокфеллеровского института, показал, что небольшое количество РНК содержится и в хромосомах, а Рут Сэйджер обнаружила небольшие количества ДНК в цитоплазме, что было особенно характерно для растительных клеток).

Касперсон обнаружил, что ДНК располагается в хромосомах в виде тяжей. Может быть, ДНК имеет очень тесное отношение к генам? Ведь ученые того времени весьма туманно представляли, в какой форме существуют гены, в виде чего они находятся в клетке.

В течение 40-х годов XX века биохимики со все возрастающим интересом разрабатывали это направление: искали связь между ДНК и генами. Они сделали очень важное наблюдение: количество ДНК в клетках организма строго постоянное. Исключение составляют только половые клетки — сперматозоиды и яйцеклетки, в которых содержание ДНК было в два раза ниже, чем во всех остальных. Но и хромосом в половых клетках в два раза меньше, чем в обычных. Количество РНК и белка в хромосомах в разных клетках могло варьироваться, но количество ДНК оставалось постоянным. Это наводило на мысль, что между ДНК и генами существует тесная связь.

Безусловно, далеко не все факты легко укладывались в эту гипотезу. Например, белки в хромосомах. Белки, относящиеся к различным классам (*протамины* и *гистоны*), связываясь с нуклеиновыми кислотами, образуют комплекс, название которому *нуклеопротеид*. Если учитывать сложность белковых молекул и их огромную роль в выполнении самых разных функций организма, то не являются ли белки главной частью молекулы нуклеопротеида? Может быть, нуклеиновая кислота выступает лишь в роли придатка рабочей части молекулы, как, например, гем в гемоглобине?

Но белки, обнаруженные в нуклеопротеидах, оказались слишком простыми по сравнению с другими представителями этого класса органических соединений, тогда как по мере накопления знаний структура ДНК становилась все сложнее и сложнее.

Вскоре ученые получили данные, которые прояснили суть дела. Существуют микробы, которые являются причиной возникновения пневмонии — *пневмококки*. Бактериологи длительное время изучали две линии пневмококков, выращенные в лабораторных условиях — одни были покрыты гладкой капсулой, состоящей из углеводов, а у других эта капсула отсутствовала, поэто-

му они казались на вид шероховатыми. Вероятнее всего, у «шероховатых» пневмококков отсутствовал фермент, необходимый для синтеза углеводной капсулы. Английский бактериолог Фред Гриффит обнаружил интересный факт: если убитых пневмококков из «гладкого» штамма смешать с живыми «шероховатыми», после чего смесь ввести мыши, в тканях инфицированной мыши появятся живые «гладкие» пневмококки. Как это может происходить? Безусловно, убитые «гладкие» пневмококки не могли ожить. Значит, в «шероховатых» бактериях произошли какие-то изменения, в результате чего у них появилась способность синтезировать гладкую оболочку. Вероятно, от убитых бактерий, принадлежавших к «гладкому» штамму, к живым «шероховатым» пневмококкам перешел некий фактор, трансформировавший их в «гладких» соплеменников.

В 1944 году три американских биохимика — Освальд Теодор Эвери, Колин Манроу Маклеуд и Маклин Маккарти — идентифицировали этот трансформирующий фактор. Им оказалась ДНК. Когда они выделили чистую ДНК из пневмококков «гладкого» штамма и добавили ее к «шероховатым» бактериям, «шероховатый» штамм трансформировался в «гладкий».

Исследователи начали выделять другие трансформирующие факторы, уже из других бактерий, и определяющие другие свойства, но в каждом случае фактор имел природу ДНК. Вывод, который вытекал из результатов подобных исследований, был один: ДНК, а не белок, действует подобно гену. И действительно, исследования, проведенные в различных направлениях, особенно те, которые проводились на вирусах (см. главу 13), убедительно показали, что связанный в хромосомах с ДНК белок в общем-то является лишним с генетической точки зрения: ДНК сама по себе способна выполнять функции генов, будучи или в составе хромосом, или, как в случае нехромосомного наследования, в цитоплазматических включениях, таких, как хлоропласты.

Если разгадка тайны наследственности кроется в ДНК, то она должна иметь сложную структуру, поскольку ее молекула в этом случае является тщательно разработанной моделью, своеобразным набором инструкций (генетическим кодом), необходимых для синтеза многих ферментов. Если принять во внимание, что молекула ДНК состоит из четырех различных нуклеотидов, то они не могут располагаться в одной и той же постоянной последовательности типа 1, 2, 3, 4, 1, 2, 3, 4, 1, 2, 3, 4... Такая молекула была бы слишком простой матрицей для ферментов. И действительно, в 1948 году американский биохимик Эрвин Чаргафф и его сотрудники убедительно доказали, что молекулы нуклеиновых кислот имеют куда более сложное строение, нежели предполагалось ранее. Проанализировав нуклеотидный состав,

они показали, что различные пурины и пиримидины присутствуют в ДНК не в равных количествах и что соотношение между ними в различных нуклеиновых кислотах не одинаково.

Все свидетельствовало в пользу того, что не существует закономерности в распределении пуринов и пиримидинов вдоль молекулы ДНК, что порядок их расположения случайный, как и порядок расположения аминокислот в полипептидной цепи. Но какая-то закономерность в нуклеотидном составе ДНК все же имела. В каждой конкретной молекуле ДНК суммарное количество пуринов всегда равнялось общему количеству пиримидинов. Более того, количество аденинов (один из пуринов) всегда равнялось количеству тиминов (один из пиримидинов), а число гуанинов (другой из пуринов) было всегда равно числу цитозинов (второй пиримидин)

Если обозначить аденин буквой «А», гуанин — буквой «Г», тимин — буквой «Т», а цитозин — буквой «Ц», то количество пуринов будет равно $A + G$, а количество пиримидинов — $T + C$. Таким образом, для любой молекулы ДНК будут справедливы следующие утверждения:

$$\begin{aligned} A &= T \\ G &= C \\ A + G &= T + C \end{aligned}$$

Выяснились и более общие закономерности структуры ДНК. Еще в 1938 году Астбери выяснил, что нуклеиновые кислоты, преломляя рентгеновские лучи, рассеивают их. Это является верным признаком того, что в структуре нуклеиновых кислот существуют повторяющиеся блоки. Британский биохимик Морис Хью Фредерик Уилкинс, выходец из Новой Зеландии, рассчитал, что повторение структурных блоков происходит через интервалы гораздо большие, чем расстояние между соседними нуклеотидами. Из этого наблюдения следовал лишь один логический вывод: молекула нуклеиновой кислоты имеет форму спирали, витки которой и являются теми повторяющимися структурными блоками, которые были обнаружены с помощью рентгеновских лучей. Этот вывод казался тем более правильным, так как в то самое время Лайнус Полинг показал, что некоторые белковые молекулы обладают спиральной структурой.

В 1953 году английский физик Фрэнсис Харри Комптон Крик с коллегами и американский биохимик Джеймс Дьюи Уотсон (когда-то юный всезнайка), собрав воедино всю информацию, касающуюся молекулы нуклеиновой кислоты, создали двухспиральную модель структуры ДНК. Их взгляд на структуру ДНК был поистине революционным: согласно их модели, молекула нуклеиновой кислоты существовала не просто в форме спирали, а, что наиболее важно, в виде *двойной спирали*. Согласно модели

Уотсона и Крика, два сахара-фосфатных остова спиралеобразно закручивались вокруг общей оси подобно перилам, расположенным по обеим сторонам винтовой лестницы. От каждого сахара-фосфатного остова внутрь спирали навстречу друг другу отходили пурины и пиримидины, которые, стыкуясь, образовывали как бы ступени этой огороженной с двух сторон перилами винтовой лестницы.

Но каков порядок расположения пуринов и пиримидинов вдоль этих параллельных цепей? Чтобы расстояние между цепями не менялось и они были действительно параллельны, двухкольцевой пурин одной цепи и однокольцевой пиримидин второй цепи всегда должны находиться друг против друга, образуя в целом трехкольцевую структуру. Двум пуринам, расположенным между цепями на одном уровне, было бы тесно, а два пиримидина, наоборот, не смогли бы заполнить внутреннее пространство. Более того, аденин одной цепи должен был всегда находиться напротив тимина другой (другими словами, аденин был *комплиментарен* тимину), тогда как гуанин всегда должен был находиться напротив цитозина (гуанин был *комплиментарен* цитозину). Таким образом, становилось ясно, почему $A = T$, $G = C$, а $A + T = G + C$.

Модель Уотсона и Крика явилась прекрасным фундаментом для дальнейшего изучения структуры ДНК, за что Уилкинс, Крик и Уотсон получили в 1962 году Нобелевскую премию в области физиологии и медицины.

Благодаря модели Уотсона и Крика стало возможным объяснить, как, например, хромосомы удваиваются при клеточном делении. Представим хромосому в виде вытянутой двухцепочечной молекулы ДНК. Для того чтобы удвоиться, молекула ДНК должна сначала разделиться, то есть из одной двойной спирали должны образоваться две одинарные, а для этого две цепи должны расплестись и разойтись. Это сделать довольно просто, так как находящиеся друг против друга комплиментарные пары пуринов — пиримидин и гуанин — цитозин скреплены слабыми водородными связями, которые легко могут быть разорваны. После расплетания ДНК на каждой цепи, являющейся половиной ее молекулы, должно синтезироваться по новой, *комплиментарной* цепи, которая дополнила бы одинарную цепь до целой двухцепочечной молекулы. Напротив аденозина в новой цепи должен стать комплиментарный ему тимин, напротив гуанина — цитозин. Все исходные материалы для синтеза нуклеотидов, а также все необходимые ферменты в клетке присутствуют. Одноцепочечная половина молекулы выполняет роль матрицы, или шаблона, по которому складываются в нужном порядке воедино структурные единицы, из которых построена молекула ДНК, — нуклеотиды. Нуклеотиды занимают нужные места и фиксируются в этом положении, так как такое положение для них наиболее стабильное.

Проще говоря, каждая половина молекулы ДНК «руководит» синтезом своей второй половины и удерживает ее подле себя посредством водородных связей. Таким образом, из одной молекулы ДНК, которая разделилась на две одноцепочечные половины, образуются две двуспиральные молекулы, точно такие же, как и материнская молекула. Такой процесс удвоения, создания точной копии, или *репликации*, происходит со всеми молекулами ДНК, входящими в состав хромосом. В результате из одной хромосомы получаются две, которые являются копиями материнской хромосомы. Но иногда точность воспроизводства хромосом нарушается. Причиной этому могут стать либо взаимодействие с ядерными частицами, либо радиация, либо воздействие некоторых химических агентов, и тогда в процессе копирования ДНК происходят сбои, в результате чего дочерние хромосомы отличаются по какому-то фрагменту от материнской — происходит мутация.

Доказательств, свидетельствующих в пользу подобного механизма репликации, со временем накопилось много. Проводились исследования, направленные на то, чтобы при делении клеток проследить судьбу входящих в состав ДНК атомов азота (для этого использовали меченые атомы). Были выделены некоторые ферменты, участвующие в процессе репликации, — все это позволило гипотезе относительно двуспиральной структуры молекулы ДНК перерасти в фундаментальную теорию.

В 1955 году американский биохимик, испанец по происхождению, Северо Очоа выделил из бактерий *Azobacter vinelandii* фермент, который катализировал синтез РНК из нуклеотидов. В 1956 году Артур Корнберг, который прежде учился у Очоа, выделил из бактерий *Escherichia coli* другой фермент, катализирующий синтез ДНК из нуклеотидов. В результате Очоа удалось синтезировать из нуклеотидов РНК-подобную молекулу, а Корнбергу — молекулу, подобную ДНК, за что в 1959 году оба они были удостоены Нобелевской премии в области физиологии и медицины. Корнбергу удалось показать, что под действием его фермента, при использовании в качестве матрицы фрагмента ДНК, синтезируется молекула, идентичная природной ДНК.

В 1965 году Сол Шпигельман, который работал в Иллинойском университете, используя РНК, выделенную из вирусов (наиболее простой класс живых организмов), синтезировал молекулы такой же нуклеиновой кислоты. (Поскольку эти молекулы обладали свойствами вирусов, опыты Шпигельмана еще и продемонстрировали возможность искусственного создания жизни в пробирке.) В 1967 году Корнберг с сотрудниками проделал то же самое, взяв за матрицу ДНК, выделенную из живых вирусов.

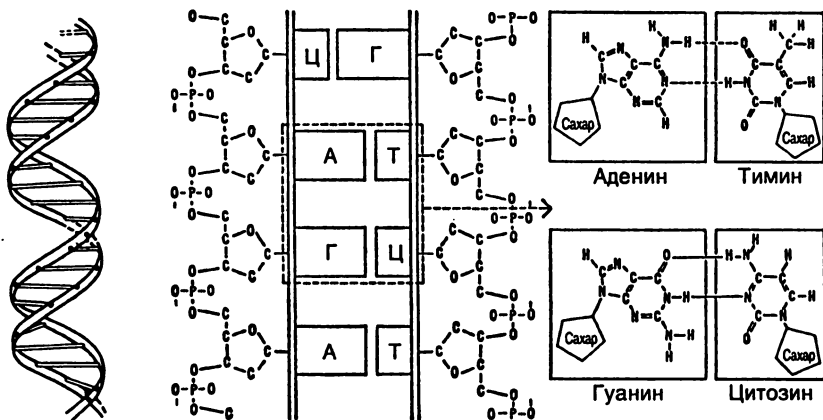
Количество ДНК, связанное с наиболее простым проявлением жизни, небольшое — у вируса всего одна молекула, и оно может быть уменьшено. В 1967 году Шпигельман, проводя опыты по репликации вирусных нуклеиновых кислот, последователь-

но укорачивал время репликации и использовал получающиеся реплики в качестве матриц для дальнейших репликаций. В результате ему удалось уменьшить размеры вируса в 6 раз, а скорость репликации увеличить в 15 раз.

В обычных клетках при делении происходит репликация только ДНК, РНК в клетках не реплицирует, тогда как многие вирусы, организация которых ниже, чем у клетки, вместо ДНК содержат РНК, и эта РНК реплицирует при их размножении. (ДНК или РНК, содержащиеся в вирусах, могут быть как одноцепочечными, так и двухцепочечными. — *Примеч. пер.*)

Одноцепочечная структура нуклеиновой кислоты не означает, что ее молекула не может реплицировать. Американский биохимик Роберт Луис Синшаймер обнаружил вирусы, в которых ДНК была одноцепочечной, и такая ДНК была способна воспроизводить себя. Как одноцепочечная молекула может это сделать? Ведь при синтезе на ней второй молекулы получается не идентичная структура, а комплиментарная. Ответ на этот вопрос оказался простым. На одноцепочечной молекуле действительно вначале синтезируется комплиментарная цепь, но затем на этой цепи синтезируется вторая, комплиментарная ей (то есть комплиментарная комплиментарной), которая и является точной копией материнской молекулы. Другими словами, репликация одноцепочечной ДНК протекает в две стадии.

Совершенно очевидно, что одноцепочечная структура нуклеиновой кислоты менее рациональна, чем двухцепочечная (вероятно, по этой причине одноцепочечные нуклеиновые кислоты присутствуют исключительно в некоторых наиболее простых ви-



Двухспиральная модель строения молекулы ДНК. Слева показан общий вид молекулы ДНК; в центре — схематическое изображение ее фрагмента (атомы водорода не указаны); справа — детальное изображение комбинаций комплиментарных нуклеотидов

русах, тогда как двухцепочечные — во всех остальных более высокоорганизованных формах жизни). Во-первых, одноцепочечная ДНК воспроизводит себя в два этапа, тогда как двухцепочечной для этого требуется один. Во-вторых, как теперь стало ясно, в двухцепочечной молекуле только одна цепь является рабочей, вторая же просто сохраняет рабочую цепь, когда та находится в нерабочем состоянии. В этом аспекте двойную структуру ДНК можно сравнить с саблей, вложенной в ножны: сабля — это одна цепь, рабочая, а ножны — вторая, служащая для хранения рабочей цепи и защиты ее от повреждений. Если саблю не хранить в ножнах, то она скоро заржавеет и притупится.

Однако репликация — это лишь способ, при помощи которого ДНК продолжает свое существование. Каким образом она совершает свою работу, в результате которой синтезируется определенный фермент, то есть молекула определенного белка? Ведь для того, чтобы синтезировать любой конкретный белок, требуется разместить в полипептидной цепи в строго определенной последовательности сотни, а то и тысячи структурных единиц — аминокислот. И на месте каждой структурной единицы может быть любая из 20 аминокислот. Как ДНК выбирает в качестве каждой единицы ту единственную аминокислоту, которая должна находиться в этом месте полипептидной цепи? Если бы молекула ДНК представляла собой полимер, состоящий из 20 вариантов нуклеотидов, то это было бы просто: можно было бы предположить, что каждому нуклеотиду соответствует определенная аминокислота. Но нуклеотидов, входящих в состав ДНК, только четыре.

Поразмыслив на эту тему, физик Джорж Гамов (Георгий Антонович Гамов) в 1954 году предположил, что нуклеотиды в различных сочетаниях могут использоваться в качестве того, что мы сейчас называем *генетическим кодом* (как и в азбуке Морзе различные сочетания точек и тире обозначают различные буквы и цифры).

Сколько существует возможных комбинаций двух нуклеотидов из четырех (А, Г, Ц и Т)? $4 \times 4 = 16$. Шестнадцать комбинаций (АА, АГ, АЦ, АТ, ГА, ГГ, ГЦ, ГТ, СА, СГ, СЦ, СТ, ТА, ТГ, ТЦ и ТТ). Аминокислот 20. Значит, сочетания двух нуклеотидов недостаточно, чтобы закодировать все аминокислоты. А если взять комбинации из трех нуклеотидов, сколько их существует? $4 \times 4 \times 4 = 64$. Шестьдесят четыре комбинации — этого более чем достаточно. (Читатель может занять себя составлением этих комбинаций. Вдруг ему удастся найти шестьдесят пятую!)

Получается, что одну определенную аминокислоту кодирует комбинация трех нуклеотидов — *нуклеотидный триплет*, или *кодон*. Но поскольку число возможных триплетов больше, чем два-

дцать, то одну аминокислоту могут кодировать два или даже три различных кодона. В этом случае генетический код, выражаясь языком шифровальщиков, *вырождается*.

Если это так, то тогда остаются неясными два серьезных вопроса: какой кодон (или какие кодоны) соответствует каждой аминокислоте и каким образом информация с кодона (который надежно хранится в ядре, так как только там была обнаружена ДНК) передается в цитоплазму к месту, где происходит синтез ферментов?

Что касается второго вопроса, то вскоре появилось подозрение, что посредником между ядром и цитоплазмой является РНК. Первыми, кому пришла в голову такая мысль, были французские биохимики Франсуа Жакоб и Жак Люсьен Моно. Структура такой РНК должна была быть похожа на структуру ДНК, а если чем-то и отличаться, то это отличие не должно влиять на генетический код. В РНК, в отличие от ДНК, в качестве сахара входит не дезоксирибоза, а рибоза (у которой на один атом кислорода больше) и вместо тимина — урацил (у него на одну метильную группу меньше). К тому же основное количество РНК обнаруживается в цитоплазме, хотя и небольшие количества ее присутствуют непосредственно в хромосомах.

Нетрудно представить, а это было доказано и экспериментально, как РНК переносит информацию, закодированную в нуклеотидной последовательности ДНК, в цитоплазму. Когда две сплетенные нити ДНК расплетаются, одна из них (всегда одна и та же; помните, та, которая является «лезвием») реплицируется, но только не из тех нуклеотидов, из которых состоит ДНК, а из тех, из которых состоит молекула РНК (этот процесс называется *транскрипцией*. — *Примеч. пер.*). В принципе все происходит так же, как и при синтезе комплиментарной цепи ДНК, только вместо тимина в качестве комплиментарных аденину нуклеотидов встраивается урацил. В результате получается молекула РНК, которая несет в своей структуре генетическую информацию, хранившуюся в молекуле ДНК, и эта молекула РНК может покинуть ядро и выйти в цитоплазму.

Поскольку синтезированная молекула РНК несет в себе генетический код, заложенный в ДНК-матрице, такая РНК называется *матричной*, или сокращенно *мРНК* (этот тип РНК называют еще и *информационной*, или *иРНК*. — *Примеч. пер.*).

В 1956 году американский биохимик, выходец из Румынии, Георг Эмил Паладе благодаря электронной микроскопии обнаружил включения в цитоплазме, на которых синтезируются ферменты. Это были крохотные образования, диаметром не более 2×10^{-6} сантиметра. Поскольку в них содержалось много РНК, им дали название *рибосомы*. В бактериальных клетках насчитывается около 15 000 рибосом, а в клетках млекопитающих их примерно в 10 раз больше. Рибосомы — самые маленькие из

органелл (клеточных включений). Вскоре установили, что матричная РНК переносит генетическую информацию от ДНК к рибосомам, прикрепляясь к одной или нескольким из них, и что рибосомы являются местом синтеза белка в клетке.

Следующий шаг в биохимии нуклеиновых кислот сделал американский биохимик Малон Буш Хогланд, который, также занимаясь мРНК, обнаружил в цитоплазме группу молекул РНК небольшого размера. Этот тип РНК можно было назвать *растворимой* РНК, так как из-за маленького размера молекулы находились в цитоплазме в растворенном состоянии.

На одном конце молекулы растворимой РНК был триплет нуклосидов, который комплементарно соответствовал одному из триплетов молекулы мРНК. Например, если молекула растворимой РНК заканчивалась триплетом АГС, то этот триплет соответствовал только триплету УСГ на матричной РНК. На другом конце молекулы растворимой РНК было место, к которому могла прикрепиться аминокислота, но не любая, а только одна, определенная. Получалось, что каждый триплет на молекуле мРНК предназначался для связывания одного конца определенной молекулы растворимой РНК, несущей на своем другом конце определенную аминокислоту, и что большое количество различных молекул растворимой РНК могли связаться последовательно одна за другой с триплетами на молекуле мРНК (с триплетами, скопированными с матрицы ДНК, по сути, с определенного гена). Тогда молекулы аминокислот, фиксированные на молекулах растворимых РНК, также выстраиваются в один ряд. Связавшись, они могут образовать полипептидную цепь, то есть молекулу фермента.

Поскольку при таком способе синтеза растворимые РНК служат посредником при переводе закодированной в мРНК генетической информации в аминокислотную последовательность белков и доставляют нужные аминокислоты к месту синтеза, этот тип РНК стали называть *транспортными* РНК, или *тРНК*.

В 1964 году группа американских биохимиков, возглавляемая Робертом У. Холли, выяснила, как устроена молекула тРНК для аланина (тРНК, которая связывается с аминокислотой аланином). Исследователи расщепили при помощи соответствующих ферментов молекулу тРНК на маленькие фрагменты (метод Сангера) и затем, проанализировав их строение, смогли сделать выводы относительно строения всей молекулы нуклеиновой кислоты. Таким образом, впервые в истории науки была установлена структура природной нуклеиновой кислоты. Оказалось, что аланиновая тРНК состоит из 77 нуклеотидов, в число которых входят не только те, из которых обычно состоит РНК (А, Г, Ц и У), но и некоторые другие, близкие к ним по строению.

Вначале считали, что одноцепочечная молекула тРНК подобно шпильке для волос согнута посередине, тогда как концы ее

сплетены в двойную спираль. Но оказалось, что молекулярная структура аланиновой тРНК совсем другая: она образует три петли и поэтому похожа на трилистник клевера, наклоненный в одну сторону. В последующие годы исследователи группы Холли определили структуру молекул других тРНК — и все они имели подобное трилистнику строение.

Итак, ученые установили, каким образом гены контролируют синтез определенных ферментов. Многие вопросы, конечно, оставались неясными. В частности, непонятно было, как регулируется активность генов. Ведь синтез ферментов не протекает постоянно: в какое-то время происходит их быстрый синтез, в какое-то время ферменты образуются с умеренной скоростью, а в какое-то — и вовсе не синтезируются. Некоторые клетки производят белки с максимальной скоростью, соединяя на одной хромосоме за минуту до 15 миллионов аминокислот в белковые молекулы, в других клетках белок синтезируется медленно, в третьих — в лучшем случае едва-едва, но ведь все эти клетки принадлежат одному организму и, следовательно, набор генов в них одинаковый. Более того, различные типы клеток в организме отличаются по своей специализации, они различаются по внешнему виду и выполняют различные функции, в каждом типе клеток протекают свои биохимические процессы. Даже клетки одного типа в разное время обладают разной активностью. Но, опять же, структура генетического аппарата во всех клетках одинакова. Каким же образом клетка регулирует свою активность?

Совершенно очевидно, что в ней заложены природные механизмы блокирования и разблокирования молекул ДНК в хромосомах. Блокируя и разблокируя участки ДНК в хромосомах, различные клетки с одинаковым набором генов синтезируют разные комбинации белков. Даже одна и та же клетка в различные периоды времени может производить разные белки.

В 1961 году Франсуа Жакоб и Жак Моно предположили, что для каждого гена существует свой собственный регулирующий фактор — репрессор, который кодируется *регуляторным геном*. Этот репрессор — в зависимости от его геометрии, которая меняется при малейшем изменении внутренней среды клетки, — блокирует или активизирует ген. В 1963 году этот репрессор был найден — им оказался простой белок. За эту работу Жакоб, Моно и Андре Мишель Львов, сотрудничавший с ними, в 1965 году получили Нобелевскую премию по физиологии и медицине.

Следовательно, информация в клетке передается не только в одном направлении: от гена к ферменту. Существует и противоположное направление, так называемая *обратная связь*. Предположим, существует ген, который контролирует образование фермента, катализирующего превращение одной аминокислоты в другую — например, треонина в изолейцин. Изолейцин, появляясь в клетке, каким-то образом активизирует белок-репрессор, ко-

который начинает блокировать тот самый ген, который ответствен за образование фермента, способствующего появлению в клетке изолейцина. Другими словами, чем больше изолейцина образуется в клетке, тем меньше скорость его дальнейшего образования. Точный химический механизм взаиморегуляции активности системы «ген—фермент—конечный продукт—репрессор—ген» необычайно сложен и вряд ли скоро будет выяснен до конца.

Но вернемся к первому из двух вопросов, которые мы задали себе: какой кодон кодирует какую аминокислоту? Первые попытки ответить на этот вопрос предприняли американские биохимики Маршалл Уоррен Ниренберг и Дж. Генрих Маттэй. В 1961 году они начали использовать в своих экспериментах синтетическую нуклеиновую кислоту, полученную по методу Очоа из одного нуклеотида — урацила. Эта *полиуридиновая кислота* представляла собой полимер ...УУУУУУУУ... и поэтому обладала единственным кодоном — УУУ.

Ниренберг и Маттэй внесли полиуридиновую кислоту в систему, содержащую различные аминокислоты, ферменты, рибосомы и другие компоненты, необходимые для синтеза белка. В результате в такой белоксинтезирующей системе образовывался полипептид, состоящий только из одной аминокислоты фенилаланина. Это означало, что триплет УУУ соответствует фенилаланину. Таким образом было положено начало составлению словаря генетического кода, при помощи которого в мРНК записана информация о кодируемом ею белке (ферменте).

Следующим шагом было создание полинуклеотида, состоящего преимущественно из уридиновых нуклеотидов с добавлением небольшого количества нуклеотидов аденина. Это означало, что в синтезированном полинуклеотиде на фоне кодонов УУУ могли появиться и кодоны УУА, АУУ или УАУ. Как установили Очоа и Ниренберг, при использовании такого полинуклеотида в качестве матричной РНК синтезировался белок, состоящий преимущественно из остатков фенилаланина, среди которых кое-где обнаруживались и остатки лейцина, изолейцина и тирозина.

Постепенно, действуя подобным образом, ученые продолжили составление словаря генетического кода. Они выяснили, что код обладает вырожденностью: например, триплеты ГАУ и ГАЦ соответствуют одной аспарагиновой кислоте, а аминокислоте глицину соответствуют целых пять кодонов: ГУУ, ГАУ, ГУС, ГУА и Г'УГ. В то же время, как установили исследователи, кодон АУГ соответствовал не только аминокислоте метионину, но и означал начало полипептидной цепи, то есть выполнял функцию, можно сказать, прописной буквы. А триплеты УАА и УАГ сигнализировали об окончании полипептидной цепи — играли роль точки в конце предложения.

В 1967 году работа над составлением словаря генетического кода была завершена. Ниренберг и его сотрудник, химик, выхо-

дец из Индии, Хар Гобинд Корана вместе с Холли получили Нобелевскую премию в области физиологии и медицины.

Их исследование хотя и не привнесло полного понимания того, каким образом генетический код видоизменяется от ткани к ткани и от клетки к клетке, но тем не менее оно встало в ряд наиболее значительных научных работ, выполненных в XX веке.

Таблица

СЛОВАРЬ ГЕНЕТИЧЕСКОГО КОДА

В левом столбце представлены первые буквы названий нуклеотидов, из которых состоит РНК (У — урацил, Ц — цитозин, А — аденин и Г — гуанин), они означают первый нуклеотид триплета. Второй нуклеотид кодона обозначен таким же образом в строке в верхней части таблицы, третий, последний, нуклеотид представлен в правом столбце. Например, аминокислота тирозин кодируется триплетами или УАУ, или УАС. Аминокислоты, соответствующие различным кодам, обозначены сокращенно: Фен — фенилаланин, Лей — лейцин, Иле — изолейцин, Мет — метионин, Вал — валин, Сер — серин, Про — пролин, Тре — треонин, Ала — аланин, Тир — тирозин, Гис — гистидин, Лиз — лизин, Глу — глутаминовая кислота, Глн — глутамин, Асп — аспарагиновая кислота, Асн — аспарагин, Три — триптофан, Арг — аргинин, Гли — глицин, Цис — цистеин.

	Положение нуклеотида в кодоне				
1-е	2-е				3-е
	У	Ц	А	Г	
У	Фен Фен Лей Лей	Сер Сер Сер Сер	Тир Тир «стоп» «стоп»	Цис Цис «стоп» Три	У Ц А Г
Ц	Лей Лей Лей Лей	Про Про Про Про	Гис Гис Глн Глн	Арг Арг Арг Арг	У Ц А Г
А	Иле Иле Иле? Мет («начало»)	Тре Тре Тре Тре	Асн Асн Лиз Лиз	Сер Сер Арг Арг	У Ц А Г
Г	Вал Вал Вал Вал («начало»)	Ала Ала Ала Ала	Асп Асп Глу Глу	Гли Гли Гли Гли	У Ц А Г

Происхождение жизни

Затронув вопросы, связанные с нуклеиновыми кислотами, мы вплотную подошли к другой теме — теме происхождения жизни, поскольку нуклеиновые кислоты — это важнейшие для жизни вещества. Без ДНК живые организмы не смогли бы размножаться, следовательно, не могла бы продолжаться и жизнь. Все вещества, присущие живой материи — не только ферменты, но и все остальные, которые образуются при помощи ферментов, — в конечном итоге зависят от ДНК. Но как возникла ДНК? Как появилась жизнь?

Долгое время вопрос о происхождении жизни наука не решалась перед собой ставить, он был связан с религиозными верованиями даже в большей степени, чем проблемы происхождения Земли или Вселенной. И сегодня этот вопрос рассматривается перешителю и апологетически. В значительной степени проблема происхождения жизни получила статус научного направления благодаря русскому биохимику Александру Ивановичу Опарину. В 1924 году в Советском Союзе вышла его книга «Происхождение жизни», которая 12 лет спустя была переведена на английский язык. В ней впервые в истории науки вопрос о происхождении жизни рассматривался с материалистических позиций. В этом нет ничего удивительного: ведь в Советском Союзе религия не ограничивала развитие материалистических воззрений на природу вещей в такой степени, как на Западе.

Каждая культура, существовавшая когда-либо на Земле, создавала свой миф, повествующий о создании первых человеческих существ (а иногда и других форм жизни) богами и демонами. Однако создание жизни в целом всегда было исключительно Божественной прерогативой. Только низшие формы жизни, согласно поверьям, могли возникать из неживой материи самопроизвольно, без участия высшей силы. Насекомые и черви, например, могли возникнуть из разлагающегося мяса, лягушки — из ила, мыши — из испорченного зерна. Подобная точка зрения основывалась на действительных фактах. Возьмем наиболее показательный пример: в гниющем мясе в действительности быстро появляются личинки мух, поэтому вполне естественно можно предположить, что личинки возникают из мяса.

Сам Аристотель верил в возможность такого *самопроизвольного зарождения*. Так же считали и великие теологи Средних веков — Фома Аквинский например. Такой же точки зрения придерживались и Уильям Харви, и Исаак Ньютон. В конце концов, трудно было не поверить в то, что человек видел собственными глазами.

Первым, кто решил экспериментально проверить правильность такого убеждения, был итальянский врач Франческо Реди. В 1668 году он решил убедиться, действительно ли личинки воз-

никают из разлагающегося мяса. Для этого он разложил кусочки мяса по кувшинам, часть кувшинов покрыл тонкой тканью, а остальные оставил открытыми. Личинки появлялись только на том мясе, которое находилось в открытых кувшинах и которое было доступно для мух. Из этого Реди сделал заключение, что личинки возникают из микроскопических яиц, которые откладывают на мясе мухи. Без мух и их яиц, утверждал он, личинки из мяса никогда не зарождаются, сколько бы оно ни гнило, сколько бы ни разлагалось.

Другие экспериментаторы, следовавшие примеру Реди, подтверждали правильность его вывода, и убеждение, что видимые организмы возникают из мертвой материи, развеялось. Но вскоре оно вновь возродилось. Прошло немного времени, ученые открыли существование микробов и посчитали, что уж эта форма жизни точно возникает из неживой материи. Ведь даже в закрытых тканью кувшинах мясо вскоре становилось буквально напичканным микроорганизмами. И еще на протяжении целых двух столетий после первых экспериментов Реди ученые умы продолжали верить в возможность самопроизвольного зарождения микроорганизмов.

Первым, кто попытался опровергнуть убеждение в спонтанном происхождении микробов, был опять же итальянец, натуралист Лаззаро Спалланцани. Он взял два сосуда с бульоном. Один сосуд оставил открытым на воздухе, второй сосуд он поставил на огонь, прокипятив бульон, чтобы убить все микроорганизмы, которые в нем уже находились, и опечатав его, чтобы в сосуд ничего не смогло попасть снаружи. В открытом бульоне вскоре кишели микробы, тогда как кипяченый и опечатанный бульон оставался стерильным. Таким образом Спалланцани доказал, что и микроорганизмы не способны возникать из неживой материи. Ему удалось даже выделить бактериальную клетку и пронаблюдать, как она разделилась, в результате чего из одной бактерии получились две.

Опыты Спалланцани не убедили сторонников самопроизвольного зарождения жизни. Они утверждали, что кипячение разрушает некие «жизненные принципы» и что именно по этой причине в прокипяченном бульоне, находившемся в герметично закрытом сосуде, куда не проникает свежий воздух, не зародилась жизнь.

В 1862 году Пастеру удалось расставить в этом вопросе все точки над «i». Он придумал колбу особой конструкции: она имела припаянное сбоку длинное, дважды изогнутое узкое горлышко волнообразной формы. Воздух легко мог проникать в колбу через открытое горло, тогда как пыль и микроорганизмы задерживались в изгибе горлышка, как в ловушке (точно так действует колено в выпускной трубе под раковиной). Пастер поместил немного бульона в колбу, припаял изогнутое горлышко, проки-

пятил бульон так, чтобы из горлышка пошел пар (тем самым он убил микроорганизмы, находившиеся не только в бульоне, но и в горлышке колбы), и стал ждать, что же произойдет с бульоном. Бульон оставался стерильным. Значит, в воздухе нет жизненного начала. Эксперимент Пастера, кажется, навсегда похоронил теорию самопроизвольного зарождения жизни.

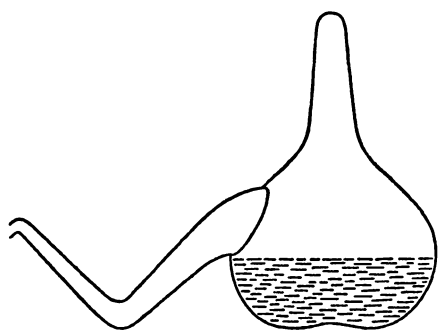
Все это породило в душах ученых сомнение: как же все-таки возникла жизнь, если ее не создала Божественная сила и если она не возникает самопроизвольно?

Ближе к концу XIX века некоторые теоретики перешли к другой крайности: они посчитали, что жизнь не возникала — она существовала вечно. Наибольшей популярностью пользовалась теория ученого Сванте Аррениуса (шведского химика, развившего концепцию ионизации). В 1907 году он опубликовал книгу «Создание миров», в которой изложил свою точку зрения на суть жизни. Согласно его теории, жизнь во Вселенной, существуя вечно, лишь мигрирует через космос, постепенно заселяя планеты. Жизнь, по Аррениусу, переносится на новые планеты в виде спор, которые случайным образом вырываются из атмосферы планеты, на которой есть жизнь, и несутся через космическое пространство под воздействием давления солнечных лучей.

В способности солнечных лучей быть движущей силой сомневаться не приходилось. Еще Максвелл, основываясь исключительно на теории, предсказал, что излучение может оказывать давление, а русский физик Петр Николаевич Лебедев в 1899 году блестяще экспериментально доказал это предположение.

Аррениус утверждал, что споры путешествуют по межзвездному пространству, переносимые световым излучением, и либо погибают в конце концов, либо попадают на какую-либо планету, где они прорастают и у них начинается фаза активной жизни. Они конкурируют с уже существующими формами жизни, если планета уже заселена, или дают жизни начало, если попадают на пустую планету, пригодную для жилья.

На первый взгляд эта теория кажется привлекательной. Споры бактерий, защищенные тонкой оболочкой, очень устойчивы к действию холода и обезвоживанию, и можно предположить, что они способны длительное время находиться в условиях вакуума. Размеры их также малы, и сила внешнего давления солнечного света вполне может превысить силу тяжести спор. Но Аррениус не учел одного факта: разрушающую мощь ультрафиолетового излучения. В 1910 году было экспериментально доказано, что ультрафиолетовый свет быстро убивает споры бактерий, а интенсивность ультрафиолетового излучения в межпланетном пространстве чрезвычайно высока. К тому же помимо ультрафиолетового света в космическом пространстве существуют и другие виды излучения, разрушающе действующие на споры: космические лучи, рентгеновское излучение Солнца, зоны заряженных частиц, подобные поясам Ван Аллена.



Колба Пастера

на, окружающим Землю. Конечно, можно предположить, что существуют такие споры, которые устойчивы к перечисленным видам излучения, но состоящие из нуклеиновых кислот и белка споры, известные на Земле, не способны сохраниться в условиях открытого космического пространства. Правда, некоторые особенно устойчивые разновидности микроорганизмов, которые в 1966 году подвергли действию жесткого ультрафиолетового излучения в открытом космосе на борту капсулы «Гемини-9», в течение шести часов сохраняли жизнеспособность. Но если не выходить за рамки теории Аррениуса, то микроорганизмы должны пребывать в космосе не часы, а месяцы или даже годы.

Обратимся к истории нашей планеты. Когда-то она была полностью покрыта водой. Содержание паров воды в атмосфере, ее окружающей, было высоким. Назовем такую атмосферу *атмосферой I*. Вследствие фотодиссоциации атмосфера I постепенно перешла в атмосферу углекислого газа и азота, или в *атмосферу II*. В верхних слоях атмосферы мог образоваться озоновый слой, после чего спонтанные изменения в ней приостановились. Могла ли в условиях прежних атмосфер возникнуть жизнь?

Рассмотрим, например, атмосферу II. Углекислый газ растворим в воде, и в то время, когда Земля была окружена атмосферой II, океан, покрывающий Землю, представлялся огромным бассейном, заполненным газированной водой. В то время ультрафиолетовое излучение Солнца на уровне Мирового океана было интенсивнее, чем в наши дни, так как атмосфера II была на последней стадии своего формирования и ниже озонового слоя, по сути, уже полностью сформировалась. Более того, почва Земли в то время была более насыщена радиоактивными элементами, чем в наше время. Могла ли в тех условиях зародиться жизнь?

По мнению американского физико-химика Гарольда Клейтона Юри, жизнь могла зародиться еще в условиях атмосферы I. В 1952 году Стэнли Ллойд Миллер, в то время работавший после окончания университета в лаборатории Юри, занялся тем, что пропускал разряды электрического тока через воду, насыщенную аммиаком, метаном и водородом (электрические разряды имити-

ровали ультрафиолетовое излучение Солнца). Через неделю эксперимента он произвел анализ полученного раствора путем хроматографии на бумаге и обнаружил, что в добавление к простым веществам, содержащим азот, в растворе появились две самых простых аминокислоты — глицин и аланин, более того, существовали намеки и на то, что в растворе имеются и более сложные аминокислоты.

Эксперимент Миллера имел большое значение по нескольким причинам. Во-первых, эти вещества получились быстро и в достаточно больших количествах. Всего за неделю эксперимента шестая часть метана превратилась в более сложные органические соединения.

Во-вторых, в результате эксперимента Миллера образовались не просто новые органические молекулы, а молекулы, присущие живым тканям. Путь, который прошли простые молекулы, был направлен непосредственно в сторону зарождения жизни. И *жизненная направленность* этого пути подтвердилась в более поздних и более сложных экспериментах.

Вскоре за Миллером последовал Р.Г. Абельсон, который провел несколько подобных экспериментов, используя в качестве исходных веществ газы в различных комбинациях и соотношениях. Абельсон получил ошеломляющий результат: во всех опытах, в которых в качестве исходных веществ использовались молекулы, содержащие углерод, водород, кислород и азот, образовывались аминокислоты, причем именно те, из которых состоят белки. И ни разу в результате таких экспериментов не образовывались в значительных количествах молекулы, которые характерны для неживой природы.

Для образования аминокислот не обязательна энергия именно электрических разрядов. В 1959 году немецкие ученые Вильгельм Грот и Н. фон Вейсенгофф доказали, что использование в подобных экспериментах вместо электрических разрядов ультрафиолетового облучения также приводит к образованию аминокислот.

Если у ученых и была неуверенность в том, что пресловутая жизненная направленность возникновения молекул является наиболее вероятным путем создания молекул вообще, то факт, установленный в конце 60-х годов, значительно развеял сомнения: в космическом пространстве вне земной атмосферы были обнаружены газовые облака, в состав которых входили соединения, появляющиеся на промежуточных этапах образования молекул жизни. Возможно, еще в то время, когда Земля только образовалась из космических пыли и газа, на ней уже присутствовали эти промежуточные между живой и неживой природой молекулы.

Можно даже предположить, что на Земле в момент ее зарождения уже были аминокислоты. Доказательства в пользу такого предположения были получены в 1970 году, когда американский

биохимик, выходец из Цейлона, Сирил Поннамперуна исследовал остатки метеорита, упавшего 28 сентября 1969 года в Австралии. Тщательный анализ показал наличие в метеорите небольших количеств пяти аминокислот: глицина, аланина, глутаминовой кислоты, валина и пролина. Прилетевшие из космоса аминокислоты не обладали оптической активностью, что свидетельствовало об их абиотическом происхождении, подобном тому химическому процессу, который протекал в колбе у Миллера. (Отсутствие оптической активности говорило также и о том, что наличие этих аминокислот не является результатом загрязнения земным материалом.)

Могли ли химики исследовать более поздние, чем образование аминокислот, стадии зарождения жизни? Одним из путей проведения подобного рода исследований было использование большего набора исходных материалов и более длительное энергетическое воздействие на него. Такой подход позволил бы получить большее число продуктов более сложного строения, но тогда получившаяся смесь соединений имела бы сложный состав, который было бы трудно проанализировать.

Поэтому химики пошли по другому пути. Они начали исследовать более поздние стадии, минуя ранние: стали использовать в качестве исходного сырья продукты, которые образовались на ранних стадиях. Одним из продуктов, полученных Миллером, был цианистый водород. Американский биохимик Хуан Оро, испанец по происхождению, в 1961 году начал эксперименты, в которых к исходным субстратам он добавил цианистый водород. В результате реакции он получил более богатую по составу смесь аминокислот и даже несколько коротких пептидов. Более того, среди продуктов реакции он обнаружил пурины — преимущественно аденин, один из основных компонентов нуклеиновых кислот. В 1962 году, добавив в смесь исходных веществ формальдегид, Оро получил в качестве продуктов реакции рибозу и дезоксирибозу — сахарные компоненты нуклеиновых кислот.

В 1963 году Поннамперуна также повторил эксперимент Миллера, в качестве источника энергии ученый использовал поток электронов. В этих условиях также образовывался аденин. Вместе с Рут Мерайнер и Карлом Саганом он попробовал облучить смесь аденина и рибозы ультрафиолетовым светом и в результате получил молекулу аденозина — продукта соединения аденина и рибозы. Если в реакционной смеси присутствовал еще и фосфат, тот также присоединялся к аденозину, при этом образовывался адениловый нуклеотид. К нему могли присоединиться еще два остатка фосфорной кислоты, и тогда образовывался аденозинтрифосфат (АТФ), который, как говорилось в главе II, необходим для протекания энергетических процессов в организме.

В 1965 году Поннамперуне удалось получить молекулу динуклеотида (два нуклеотида, соединенные вместе). Если в исход-

ную смесь добавляли такие вещества, как цианамид (CNNH_2) или этан (CH_3CH_3) — вещества, которые вполне могли присутствовать в первобытном океане, — то в качестве продуктов получали и другие соединения. Таким образом, у исследователей не осталось сомнений в том, что вследствие сочетания химических реакций и физических явлений, которые происходили в океане первобытной планеты и окружающей ее атмосфере, могли образоваться белки и нуклеиновые кислоты.

Каждое вещество, образовавшееся в безжизненном океане, существовало длительно и поэтому со временем накапливалось. На Земле не было живых организмов, ни больших, ни малых, которые могли бы употребить его или разложить. Более того, в атмосфере того времени не было кислорода, который способствовал бы окислению и разрушению молекул этих соединений. Единственным существовавшим в то время фактором, который мог бы способствовать разрушению вновь образованных молекул, была энергия ультрафиолетового и радиоактивного излучения, благодаря которой они и возникли. Но океанические течения заносили эти молекулы в средние слои океана — то укромное место, где образовавшиеся вещества были в безопасности: их не достигали ультрафиолетовые лучи Солнца, идущие сверху, равно как и не достигало радиоактивное излучение, исходящее со дна океана.

Поннамперуна и его коллеги рассчитали, что образовавшиеся таким образом органические вещества могли занимать 1 процент всего объема первобытного океана. Если это действительно так, то масса органических соединений составляла величину более миллиарда миллионов тонн. Силам природы этого количества материала для экспериментов было, конечно, предостаточно, и нет ничего невероятного в том, что в такой огромной массе субстратов за не очень продолжительный период времени могли образоваться немыслимо сложные молекулы (чего-чего, а уж времени для этого у них было предостаточно — пара миллиардов лет).

Можно предположить — и трудно найти аргументы против этого предположения, — что из простых веществ, присутствующих в первобытном океане и тогдашней атмосфере, со временем стало появляться все больше и больше более сложных по строению аминокислот и простых сахаров; что аминокислоты, соединяясь, образовывали пептиды; что из пуринов, пиримидинов, сахаров и остатков фосфорной кислоты синтезировались нуклеотиды и что со временем постепенно начали образовываться белки и нуклеиновые кислоты. В конце концов должна была наступить ключевая стадия — образование путем случайных комбинаций нуклеиновой кислоты, способной к репликации. Этот момент и означал начало жизни.

Таким образом, эволюции жизни, как таковой, предшествовала *химическая эволюция*.

В принципе одной живой молекулы было вполне достаточно, чтобы породить жизнь, дать начало целому миру самых разнообразных живых существ, ведь дает же одна-единственная оплодотворенная клетка начало самому сложному организму. В той густой органической «похлебке», которая и составляла в то время Мировой океан, первая живая молекула могла реплицировать много-много раз и породить за довольно короткое время миллиарды и миллиарды молекул, подобных себе. Случайные мутации могли несколько видоизменять молекулы и создавать ее более совершенные модификации, которые, размножаясь за счет старых исходных форм, постепенно замещали их. Если одна группа молекул более эффективно размножалась в теплой воде, а другая — в холодной, то могли возникнуть две популяции молекул, ареал распространения которых определялся условиями, к которым они были более приспособлены. Таким образом был запущен механизм *органической эволюции*.

Даже если вначале независимо возникло несколько разных молекул, наиболее продуктивная из них со временем должна была вытеснить все остальные, и в таком случае можно считать, что вся сегодняшняя жизнь на планете произошла из одной-единственной молекулы. Несмотря на большое разнообразие живых существ, населяющих Землю, все они устроены по одному генеральному плану. Метаболизм в их клетках протекает в значительной степени одинаково. Более того, что особенно важно, белки всех существующих организмов состоят, как правило, из L-аминокислот. Можно предположить, что белки исходного нуклеопротеида, от которого произошла вся жизнь, случайно оказались построенными из L-аминокислот, и поскольку D- и L-аминокислоты не могут соединиться в единую стабильную цепь, то такое строение при дальнейшей репликации стало универсальным. (Это не означает, что D-аминокислоты вообще отсутствуют в природе. Они встречаются в клеточной стенке некоторых бактерий, а также входят в состав некоторых антибиотиков. Но эти исключения лишь подтверждают правило.)

Безусловно, переход от живой молекулы ко всем формам жизни, которые существуют сегодня, не является простым. Все живые организмы, за исключением вирусов, состоят из клеток, а клетка, даже несмотря на относительную простоту ее организации по сравнению с человеческим организмом, является чрезвычайно сложной структурой как по химическому составу, так и по функциональным связям, существующим между внутриклеточными структурами. Как же возникла клетка?

Тайну происхождения клетки слегка приоткрыли исследования американского биохимика Сидни В. Фокса, который предположил, что на Земле в примордиальные времена было жарко, достаточно жарко для того, чтобы одной лишь тепловой энергии хватило для образования сложных молекул из более простых. Для того чтобы

убедиться в правильности своего предположения, Фокс в 1958 году проделал такой эксперимент: он нагрел смесь аминокислот и обнаружил, что они соединились в полипептидную цепь, напоминающую белковую молекулу. Эти *протеноиды*, как назвал такие молекулы Фокс, расщеплялись ферментами, расщепляющими обычные белки, и так же, как и обычные белки, могли быть использованы в качестве пищи для бактерий.

При помещении в горячую воду протеиноиды растворялись в ней. Но самым поразительным было то, что при охлаждении таких растворов молекулы протеиноидов слипались и образовывали маленькие структуры — *микросферы*, такие же по величине, как и небольшие бактерии. Эти микросферы, безусловно, нельзя было считать живыми (в полном понимании этого слова) образованиями, но их поведение чем-то напоминало поведение клеток. Они были окружены неким подобием мембраны. При добавлении в раствор одних реактивов они сморщивались, при добавлении других — набухали, как обычные клетки. Они могли образовывать почки, которые иногда росли и отпочковывались. Микросферы могли отделяться друг от друга, делиться на две или собираться в цепочки.

Вероятно, в те далекие времена такие, еще не живые, но уже похожие на них скопления молекул образовывались в различных вариантах. Некоторые из них содержали много ДНК, поэтому они хорошо воспроизводили себя, но свойство накапливать энергию было в них мало выражено. Другие агрегаты умело обращались с энергией, но слабоваты были в воспроизводстве. Со временем одни и другие нашли способ скооперироваться и создать единую структуру, в которой те и другие хорошо дополняли друг друга, структуру, напоминающую современную клетку, которая существует гораздо эффективнее, чем ее составные части в отдельности. И в современной клетке до сих пор существуют ядро, богатое ДНК, но не способное утилизировать кислород, и митохондрии, которые, наоборот, прекрасно утилизируют кислород, но не могут в отсутствие ядра воспроизводить себя. (Митохондрии прежде могли быть независимыми структурами, поскольку, как показали исследования, они помимо всего прочего содержат еще и небольшие количества ДНК.)

На всем протяжении существования атмосфер I и II примитивные жизненные формы могли существовать лишь за счет разложения сложных химических веществ до простых и утилизации энергии, которая при этом выделялась. Количество сложных веществ пополнялось под действием ультрафиолетового излучения Солнца. Когда атмосфера II окончательно сформировалась и сформировался наружный озоновый слой, над живыми организмами нависла угроза голода, поскольку озоновый слой не пропускал ультрафиолетовых лучей.

К тому времени образовались подобные митохондриям агрегаты, содержащие хлорофилл, — предшественники современных хлоропластов. В 1966 году канадские биохимики Дж.В. Ходсон и Б.Л. Бейкер, проделав эксперименты с пирролом и параформальдегидом (оба этих довольно простых соединения образовывались из еще более простых веществ в опытах, подобных тем, которые ставил Миллер), показали, что достаточно всего лишь небольшого трехчасового нагревания такой смеси, чтобы в ней образовалось порфириновое кольцо, основа структуры хлорофилла.

При формировании озонового слоя способность этих примитивных хлорофиллсодержащих агрегатов использовать видимый свет, пусть даже малоэффективная, давала им значительное преимущество перед системами, в которых хлорофилл отсутствовал. Видимый свет легко проникает через озоновый слой, и небольшой энергии видимого света (по сравнению с энергией ультрафиолетового излучения) достаточно, чтобы активировать систему хлорофилла.

Первые организмы, использующие хлорофилл, могли быть не более сложными, чем сегодняшние отдельные хлоропласты. Сегодня существует 2000 разновидностей одноклеточных организмов, способных к фотосинтезу, — это так называемые *сине-зеленые водоросли* (не все они имеют сине-зеленую окраску, но первые изученные разновидности действительно были сине-зелеными). Это очень простые клетки, по структуре напоминающие бактерии, за исключением того, что в них содержится хлорофилл, тогда как в бактериальных клетках хлорофилл отсутствует. Сине-зеленые водоросли могут быть наиболее простыми потомками первичных хлоропластов, тогда как бактерии могут быть потомками хлоропластов, которые потеряли свой хлорофилл, поэтому прибегли к паразитированию или питанию компонентами мертвой ткани.

По мере увеличения числа хлоропластов в первобытных морях количество углекислого газа на планете уменьшалось и его место стал занимать кислород. Образовалась атмосфера III, которая существует и в настоящее время. Растительные клетки становились все более жизнеспособными, каждая из них содержала несколько хлоропластов. В то же время более сложные клетки, не содержащие хлорофилла, не могли существовать так же, как при прежних условиях, поскольку растительные клетки использовали весь запас питания, который когда-то существовал в океане, и этот запас никоим образом не пополнялся. Этим клеткам следовало рассчитывать только на то, что образуется в них самих. Однако клетки, не содержащие хлорофилла, но оснащенные митохондриями, могли жить, используя в пищу растительные клетки и утилизируя молекулы, которые те так старательно создавали — ведь митохондрии способны с большой эффективностью разлагать сложные молекулы и запасать энергию, выделяющуюся при их

разложении. Так произошли современные животные клетки. Постепенно развились сложные организмы, ископаемые остатки которых (растений и животных) мы можем видеть сегодня.

Происходит ли на Земле зарождение жизни сегодня? Нет. Условия среды на нашей планете существенно изменились, они уже далеки от тех, которые способствовали возникновению жизни. На основе химической эволюции жизнь на нашей планете больше не может возникнуть и развиваться. Во-первых, сейчас отсутствуют те формы энергии, которые когда-то способствовали зарождению жизни, — это, прежде всего, энергия ультрафиолетового и радиоактивного излучений. Во-вторых, любые спонтанно возникшие органические молекулы не имеют перспективы развития, так как уже существующие формы жизни быстро используют их для своих нужд. По этим двум причинам возможность нового прорыва от неживой материи к живой фактически отсутствует (я не имею в виду вмешательство в этот процесс человека, если он, конечно, научится делать этот хитроумный трюк). Спонтанное зарождение жизни сегодня столь маловероятно, что его следует рассматривать как событие абсолютно невозможное.

Жизнь в других мирах

Если считать, что возникновение жизни является результатом работы законов физики и химии, то почему бы не предположить, что жизнь существует и за пределами Земли? Какова вероятность существования жизни в каком-либо уголке Вселенной?

Если проследовать с планеты нашего обитания в космос, то первой по дороге встретится Луна. Луну определенно можно сразу же исключить из кандидатов на место, где может существовать жизнь, так как на ней не обнаружено ни воды, ни воздуха. Правда, высказывались предположения, что самые примитивные формы жизни все же могут существовать в глубине трещин нашего ближайшего соседа по космосу, где, предположительно, могут быть небольшие количества воды и воздуха. Британский астроном В.А. Фирсов в своей книге «Станный мир Луны» утверждает, что под поверхностью Луны может быть вода и что газов, абсорбированных на пылеобразных частицах, которые толстым слоем покрывают поверхность планеты, вполне достаточно для возникновения там каких-либо форм жизни. Юри также придерживается точки зрения, что в первое время после образования Земли бомбардировки метеоритами могли выплеснуть часть воды с земной поверхности на Луну, что привело к образованию на ней на какое-то время озер и рек. На фотографиях, полученных со спутников, находившихся на лунной орбите, запечатлены тянущиеся полосы, которые более всего походят на русла древних рек.

Однако анализ образцов грунта, доставленных с Луны экспедициями, которые успешно начались в 1969 году, показал полное отсутствие в них воды и органического материала. Разумеется, образцы камней для анализа были взяты с поверхности, но, если бы их взяли с глубины хотя бы нескольких футов, результаты могли бы быть другими. Но сведения, которыми ученые располагают на сегодняшний день, не позволяют предположить наличие хоть какой-либо формы жизни на нашем природном спутнике.

Более вероятным кандидатом на роль планеты, где могла зародиться жизнь, является Венера. В пользу этого выступают ее масса (которая близка к массе Земли) и неоспоримый факт наличия вокруг Венеры атмосферы, причем более плотной по сравнению с земной. В 1959 году наблюдалось затмение Венерой яркой звезды Регулус. Анализ того, как лучи Регулуса проходят через атмосферу Венеры, позволил установить толщину атмосферного слоя и его плотность. Американский астроном Дональд Говард Мензель высчитал, что диаметр планеты (без учета атмосферы) составляет 3785,5 мили, что на 70 миль меньше, чем было установлено раньше.

Считается, что атмосфера Венеры состоит преимущественно из углекислого газа. Кислорода на Венере нет, но это не является непреодолимым барьером для возникновения жизни. Как я уже объяснил ранее, на Земле жизнь начала возникать еще до того, как в атмосфере появился кислород.

Долгое время не находили доказательств существования паров воды в атмосфере Венеры, и это являлось главным аргументом против того, что на этой планете может быть жизнь. Но астрономы не теряли надежды обнаружить там воду, ведь планета полностью покрыта облаками — из чего они состоят? В 1959 году Чарльз В. Моор поднялся на воздушном шаре в стратосферу на высоту около 15 миль (на этой высоте менее сказывались атмосферные помехи) и получил телескопическое изображение Венеры и окружающей ее атмосферы. Анализ инфракрасного спектра изображения показал, что в верхних слоях атмосферы Венеры воды содержится столько же, сколько и в атмосфере Земли.

Однако вскоре сторонников гипотезы о существовании жизни на Венере ждало новое и, наверное, окончательное разочарование, на этот раз оно касалось температуры планеты. Характер радиоволн, идущих от Венеры, свидетельствовал, что температура ее поверхности выше точки кипения воды. Правда, оставалась маленькая надежда на то, что данные, полученные с помощью радиоволн, касались верхних слоев атмосферы, а непосредственно на поверхности планеты температура могла быть несколько ниже.

Но и этой, последней надежде не суждено было долго просуществовать: в декабре 1962 года космический зонд «Маринер-2»,

пущенный американцами в сторону Венеры, облетел вокруг нее и отсканировал радиоволновое излучение, идущее с ее поверхности. Анализ сканирования четко показал, что температура на поверхности Венеры слишком высока, чтобы на ней мог существовать океан, поэтому и вся вода, существующая на планете, находится вокруг нее в виде облаков. Наличие высокой температуры — около 500°C — подтвердили и данные, полученные в декабре 1970 года советскими учеными с помощью своей космической станции. Безусловно, столь высокая температура полностью исключает возможность существования на Венере жизни, по крайней мере, в тех формах, которые нам известны.

Меркурий, который меньше Венеры и который находится ближе к Солнцу по сравнению с ней, также можно исключить из числа кандидатов на место пристанища жизни: там слишком жарко и к тому же отсутствует атмосфера.

У Марса, несомненно, есть гораздо больше шансов на то, чтобы на нем зародилась жизнь. Во-первых, на этой планете есть тонкий слой атмосферы, состоящей преимущественно из углекислого газа и азота. Во-вторых, на Марсе, судя по всему, достаточно много воды, которая в некоторых местах образует скопления в виде тонкой ледяной корки толщиной в 1 дюйм. Эта корка в зависимости от сезона то образуется, то тает. В-третьих, температура на Марсе хотя и низкая, но не настолько, чтобы препятствовать существованию жизни, по крайней мере, она не ниже, чем в Антарктиде. На марсианском экваторе в жаркий летний полдень она может достигать 30°C .

Вопрос о возможном существовании жизни на Марсе начал волновать мир более 100 лет назад. В 1877 году итальянский астроном Джованни Вирджинио Чиапарелли впервые обнаружил, что поверхность этой планеты покрыта тонкими прямыми линиями. Он назвал их каналами, подразумевая под этим словом естественные углубления, но большинство людей во всем мире решили, что эти каналы имеют искусственное происхождение и что прорыты они были для того, чтобы отводить воду от зон ее скопления к сухим участкам планеты. Американский астроном Персивал Лоуэлл воспользовался этим ажиотажем и извлек из него немалую пользу: в научно-фантастических рассказах, заполнявших страницы воскресных приложений к газетам и журналам, начали всюду публиковаться «неопровержимые доказательства» существования на Марсе разумных существ.

В действительности же один только факт существования таких каналов вызывал глубокие сомнения. Одним астрономам так и не удалось их увидеть, другие видели их лишь иногда. Большинство астрономов склонялись к тому, что каналы на Марсе — всего лишь оптический обман, связанный с переутомлением глаз, возникающим из-за желания что-либо рассмотреть. Другими словами, те, кто их видел, выдавали желаемое за действитель-

ное. Астрономы не верили, что на Марсе существуют развитые формы жизни.

Но шанс, что на этой планете могут быть простейшие ее формы, оставался. На поверхности Марса, например, видны зеленые пятна, которые меняются в различные времена года: они увеличиваются летом и уменьшаются зимой. Не означают ли эти пятна, что на Марсе есть примитивные формы жизни? Эксперименты, проведенные в лабораторных условиях, свидетельствовали, что некоторые лишайники и микроорганизмы, которые приспособлены больше к земным условиям существования, нежели к марсианским, могут жить и развиваться при температурах, которые характерны для Марса, и в атмосфере, похожей на марсианскую.

Однако вскоре стало ясно, что и этому шансу не суждено реализоваться. Двадцать восьмого ноября 1964 года в сторону Марса был запущен новый космический зонд, «Маринер-4». В 1965 году он прошел примерно в 6000 миль от Марса, сделал снимки его поверхности и отослал снимки на Землю. Судя по этим снимкам, на Марсе не было каналов, но, и это было обнаружено впервые, его поверхность оказалась покрытой большим количеством кратеров наподобие лунных. Благодаря этим снимкам было выявлено, что тонкая атмосфера Марса никогда не содержала воды.

Новые данные, касающиеся поверхности Марса, были получены в 1969 году, после запуска следующего зонда. Оказалось, что атмосфера у этой планеты еще тоньше, а температура на ее поверхности еще ниже, чем предполагали ранее. Выяснилось, например, что на южном полюсе Марса температура не превышает -130°C . Поэтому наблюдаемые «скопления льда», которые, как предполагали, служили основным источником воды на Марсе, могли оказаться замороженным углекислым газом (сухим льдом). Поэтому на сей день нет оснований утверждать, что на Марсе могут существовать какие-либо формы жизни.

Что касается других планет и их спутников (сателлитов, или планетоидов), то климатические условия на них еще более жесткие. Карл Саган предположил, что на Юпитере наблюдается сильный парниковый эффект, который приводит к значительному повышению температуры на поверхности планеты. Поэтому, по мнению Сагана, Юпитер мог бы стать пристанищем для каких-нибудь форм жизни. Но у Юпитера есть свои особенности: он излучает энергии в три раза больше, чем получает ее от Солнца. Помимо солнечной, на нем существуют другие источники энергии (возможно, энергия выделяется за счет сжатия планеты), и может оказаться, что в действительности температура на его поверхности выше, чем кажется. Однако все эти выкладки весьма и весьма предположительные, и, пока в сторону Юпитера не будет послан зонд, ничего более определенного сказать нельзя.

Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что в пределах Солнечной системы Земля является единственной планетой,

ставшей местом обитания живых организмов. Но Вселенная не ограничивается размерами Солнечной системы. Может быть, в каких-нибудь уголках ее существует жизнь?

Общее число звезд во Вселенной превышает миллиард триллионов. Только в нашей Галактике насчитывается более 100 миллиардов звезд.

Если образование всех звезд происходило так же, как и образование нашего Солнца (насколько мы это себе представляем, то есть с конденсацией больших облаков, состоящих из мелких частиц и газа, приведшей к возникновению планет и созданию Солнечной системы), то звезды не одиноки и вокруг каждой из них есть своя система небесных тел. Более того, мы знаем, что существуют так называемые двойные звезды — звездные системы, состоящие из двух светил, вращающихся вокруг единого общего центра. Есть подобные системы, состоящие из большего числа звезд. По оценкам специалистов, каждая третья звезда принадлежит к системе, состоящей из двух или более светил.

Возможные кандидаты на пристанище для жизненных форм должны походить на нашу планету. Однако мы не в состоянии увидеть планеты, находящиеся за пределами нашей Солнечной системы, даже те, которые принадлежат к ближайшим от нас звездам, поэтому об их существовании можно судить лишь по косвенным данным. Такие данные были получены в обсерватории Спроул, принадлежащей колледжу в Свартморе. Руководил исследованиями американский астроном немецкого происхождения Петер ван де Камп.

В 1943 году были обнаружены некоторые аномалии в движении одной из звезд, принадлежащих к системе 61 Лебеда, состоящей из двух звезд. Вероятнее всего, в эту систему входит третье небесное тело, 61 Лебеда С, которое, согласно расчетам, по сравнению с Юпитером должно в восемь раз превышать его по массе и примерно в два раза — в диаметре. В 1960 году была открыта такая же по величине планета, вращающаяся вокруг маленькой звезды Лаланде 21185 (о существовании этой планеты можно было также судить по траектории движения звезды). В 1963 году тщательное изучение звезды Барнарда тоже выявило существование вблизи нее планеты, масса которой в полтора раза больше массы Юпитера.

Звезда Барнарда — вторая ближайшая от нас звезда, Лаланде 21285 — третья ближайшая, а 61 Лебеда — двенадцатая. Эти три планетарные системы — одни из тех, которые расположены к нам ближе всего, и маловероятно, что их устройство существенно отличается от строения Солнечной системы. Совершенно естественно, что в силу удаленности этих светил мы способны выявить в их системах существование только самых больших планет (и то с большим трудом и косвенно). Но с большой вероятностью можно предположить, что там, где существуют гигантские планеты,

подобные нашему Юпитеру, должны существовать и меньшие по размерам небесные тела.

Предположим, что большинство звезд имеют планетарные системы и что многие планеты по размерам похожи на Землю. Означает ли это, что большая часть таких планет обитаема?

Есть набор критериев, позволяющих судить о существовании жизни на той или иной планете. Американский исследователь космоса Стефан Х. Доул, специально занимавшийся этой проблемой, изложил свою точку зрения на этот вопрос в книге «Планеты, где может жить человек», вышедшей в 1964 году. Выводы, которые сделал Доул, конечно, умозрительные, но в целом весьма разумные.

Чтобы в какой-либо звездной системе существовала обитаемая планета, указывает Доул, звезда должна быть определенного размера. Чем больше звезда, тем короче время ее существования, поэтому у планет, входящих в системы больших звезд, нет достаточно времени на химическую эволюцию, которая предшествует появлению первых сложных форм жизни. Маленькие звезды, с другой стороны, не могут предоставить планете достаточно тепла, помимо этого на таких планетах особенно сильно проявляется разрушительное действие приливов и отливов. По мнению Доула, планеты, пригодные для жизни человека, могут существовать только у звезд, принадлежащих к спектральным классам F2—K1. Когда в практику войдут межзвездные путешествия, планеты только этих звезд человек сможет колонизировать без чрезмерных усилий. А таких звезд, по подсчетам Доула, в нашей Галактике насчитывается около 17 миллиардов.

Но вовсе не обязательно, что в планетарную систему каждой из звезд классов F2—K1 входят обитаемые планеты. Доул оценил вероятность существования у таких звезд планет, отвечающих следующим требованиям: они имеют подходящую массу, находятся на подходящем расстоянии от звезды, у них подходящий период обращения, они вращаются по нормальной орбите, — и сделал заключение, что только в нашей Галактике должно существовать около 600 миллионов планет, пригодных для обитания человека, и на каждой из них уже существуют некие формы жизни.

Если такие планеты распределены по Галактике более или менее равномерно, то плотность их распределения составляет 1 планета на 80 000 кубических световых лет. Это означает, что ближайшая до нас обитаемая планета находится на расстоянии в 27 световых лет, а в пределах 100 световых лет от Земли можно обнаружить около 50 планет, пригодных для обитания человека.

Доул перечислил 14 находящихся от нас в пределах 22 световых лет звезд и оценил для каждой из них вероятность наличия обитаемых планет. Согласно его оценке, наиболее вероятно обнаружить обитаемые планеты у ближайших к нам похожих на

Солнце звезд, входящих в систему альфы Центавра — альфа Центавра А и альфа Центавра В. Шанс обнаружить у этих звезд-компаньонов (вместе взятых) обитаемую планету, по мнению Доула, составляет 1 из 10, а шанс обнаружить хотя бы одну обитаемую планету в системах всех 14 соседних звезд составляет 2 из 5.

Если возникновение жизни является результатом химических реакций, о чем было написано в предыдущем разделе, то жизнь могла появиться на любой из планет, похожей на Землю. Но следует отличать просто жизнь от жизни разумной. На планете может быть жизнь, но это вовсе не означает, что на ней есть разумные существа. По поводу возникновения разумных существ мы не можем сделать никаких толковых предположений; подобных предположений предусмотрительно не высказал и Доул. Не следует забывать, что на единственной известной нам обитаемой планете, которую мы к тому же можем изучать — это наша Земля, — появлению разумной жизни предшествовали 2 миллиарда лет жизни вообще.

Возможно, дельфины и некоторые близкие к ним виды и обладают разумом, но, как и у всех морских созданий, у них отсутствуют конечности, поэтому они не могут научиться пользоваться огнем, а значит, их разум, если таковой и существует, не может быть направлен на развитие технологии. Если ограничиться исключительно формами жизни, существующими на суше, то Земля всего лишь около миллиона лет назад смогла похвастаться появлением на ней живых существ, более разумных, чем человекообразные обезьяны.

Это означает, что время существования разумной жизни на Земле составляет $1/_{2000}$ часть времени существования на нашей планете жизни вообще (по приблизительной оценке). Если применить эту оценку ко всем планетам, то на 1 из 2000 планет, на которых могла возникнуть жизнь, должны существовать разумные существа. Воспользовавшись расчетами Доула, можно подсчитать, что это составляет, ни много ни мало, 320 миллионов планет ($1/_{2000}$ часть от 640 миллионов). Так что мы не одиноки во Вселенной.

До последнего времени серьезно к подобным расчетам относились, пожалуй, только авторы научно-фантастических романов. Наиболее осведомленные читатели знают, что я в свое время тоже написал несколько научно-фантастических произведений. И если они полагают, что все, написанное выше, также относится к разряду научной фантастики, то пусть знают: сегодня многие астрономы считают, что существует большая вероятность существования разумной жизни на других планетах.

Многие ученые в Соединенных Штатах отнеслись к мысли о существовании во Вселенной других разумных существ настолько серьезно, что проявили инициативу и под руководством Франка Д. Дрейка организовали смелый проект. Суть проекта заклю-

чалась в попытке уловить доходящие до Земли радиосигналы (если таковые есть), посланные из других миров. Главное было обнаружить определенные закономерности в радиосигналах, поступающих из космоса. Если на фоне беспорядочных радиосигналов, идущих от звезд или каких-либо других космических тел, удалось бы выделить сигналы, в которых присутствовала некая система, то можно было бы предположить, что эти сигналы являются посланиями от внеземных цивилизаций. Безусловно, даже если бы такие сигналы удалось уловить, общение с представителями столь удаленных миров выглядело бы проблематичным. Ведь эти послания могли находиться в пути много лет, и ответ на них достиг бы цели через столько же времени, так как ближайшая из возможных населенных планет находится на расстоянии более 4 световых лет.

Сигналы, согласно проекту, посылались в различных направлениях. Однако через два месяца проект был приостановлен, так как в ходе исследования не было получено ни единого положительного результата.

Тем не менее идея контакта с другими цивилизациями осталась жива. Ведь Вселенная слишком велика, чтобы добыть доказательства в пользу существования разумных существ на далеких планетах, но именно потому, что она слишком велика, жизнь в ней *должна* существовать и разумные существа также, и, возможно, они существуют в тысячах разнообразных вариантов.

И даже если мы их не найдем, придет время — и они отыщут нас.

Глава 13 **МИКРООРГАНИЗМЫ**

Бактерии

До XVII века мельчайшими живыми существами считались мелкие насекомые. Во все времена верили, что при помощи сверхъестественных сил можно, так или иначе, сделать живое создание невидимым, но никому и в голову не приходило, что в природе существуют организмы настолько маленькие, что их нельзя увидеть.

Если бы люди подозревали о существовании таких организмов в жизни, они гораздо раньше придумали бы приспособления, позволяющие видеть предметы в увеличенном виде и смогли бы эти организмы разглядеть. Ведь еще древние греки и римляне знали, что стекло, если ему придать определенную форму, способно фокусировать солнечный свет в одной точке и увеличивать предметы, если на них смотреть через него. Вогнутая стеклянная сфера, наполненная водой, позволяет сделать то же самое. Еще

Птолемей сделал оптические свойства воспламеняющих стекол объектом своих рассуждений, а древние арабские писатели, как, например, живший около 1000 лет до нашей эры Аль-Хазен, обличили суждения Птолемея в философско-литературные формы.

Первым, кто нашел мирное применение воспламеняющим стеклам, стал Роберт Гроссетест, английский епископ, философ и страстный ученый-любитель. Он подчеркивал, что линзы, эти стеклянные устройства, по форме напоминающие чечевицу, могут быть использованы для увеличения объектов, трудно различимых невооруженным глазом. Его ученик Роджер Бэкон, следуя по стопам учителя, создал очки, помогающие корректировать зрение.

В начале делали только выпуклые линзы для коррекции дальнозоркости. Вогнутые линзы, корректирующие близорукость, появились только в 1400 году. Развитие книгопечатания все больше и больше повышало спрос на очки, и их изготовление стало искусной профессией. Наибольшее развитие производство очков получило в Голландии.

Бифокальные очки, как для близи, так и для дали, изобрел в 1760 году Бенжамин Франклин. В 1827 году британский астроном Георг Биддел Айри первым изготовил линзы для коррекции астигматизма и первым ими воспользовался. И наконец, примерно в 1888 году у одного французского врача возникла идея использования контактных линз, которые, возможно, со временем полностью заменят очки.

Но давайте вернемся к голландским оптикам. Как гласит история, в 1608 году ученик мастера по изготовлению очков Ганса Липперши в свободное от работы время развлекал себя тем, что рассматривал предметы через две линзы, расположенные одна за другой. Он был крайне удивлен тем, что предметы, которые он держал на некотором расстоянии от себя, выглядели так, будто они были на ладони. Ученик тут же рассказал об этом хозяину, и Липперши изготовил первый телескоп, поместив в трубке на соответствующем расстоянии друг от друга две линзы. Принц Мауриций Нассау, который командовал голландскими вооруженными силами во время восстания против Испании, понял, что этот инструмент можно применять в военных целях, и приказал держать его изготовление в секрете.

Однако он не учел того факта, что Галилей, до которого дошли слухи об изобретении приспособления, позволяющего хорошо рассмотреть отдаленные предметы, и который знал об этом приспособлении только то, что в нем используются линзы, смог разобраться в принципе его устройства и собрал собственный телескоп уже через шесть месяцев после того, как это сделал Липперши.

Перегруппировав линзы в своем телескопе, Галилей обнаружил, что он способен увеличивать и объекты, расположенные

вблизи, то есть обладает свойствами микроскопа. В течение нескольких последующих десятилетий ученые создали микроскопы. Итальянский натуралист по имени Франческо Стеллутти с помощью их изучал анатомию насекомых, Марчелло Мальпиги обнаружил капилляры, а Хук увидел клетки коркового дерева.

Но по-настоящему значение микроскопа было оценено только тогда, когда этим прибором занялся Антоний ван Левенгук, торговец из Делфта. Некоторые из линз Левенгука могли увеличивать объекты в 200 раз.

Левенгук рассматривал под своим микроскопом все, что попадалось под руку, а затем подробно описывал увиденное в письмах, адресованных Королевскому обществу в Лондоне. Этот факт является примером настоящего триумфа демократии в науке: простой торговец был принят в Королевское общество, членами которого были джентльмены. Незадолго до смерти Левенгука, этого скромного мастера из Делфта, изготавливающего микроскопы, навестили даже коронованные особы: королева Англии и русский царь Петр I.

Через линзы своего микроскопа Левенгук смог увидеть сперматозоиды, красные кровяные тельца, а рассматривая головастика, он даже разглядел, как движется кровь по капиллярам его хвоста. Но самое главное — Левенгук стал первым, кто увидел живые организмы, настолько маленькие, что их невозможно было различить невооруженным глазом. В 1675 году он обнаружил эти микроскопические организмы в стоячей воде. Ему также удалось рассмотреть маленькие клетки дрожжей, а апогеем возможностей его микроскопа стали микробы (так назвал их Левенгук) — мельчайшие существа, которых он увидел через свои линзы в 1676 году и которых сегодня называют бактериями.

Оптическая техника развивалась очень медленно, и понадобилось полтора века, чтобы организмы размером с бактерию стали доступными для изучения. К примеру, еще до 30-х годов XIX века английский оптик Джозеф Джексон Листер создал так называемый *ахроматический микроскоп*, который не давал цветных колец вокруг изображения предметов, что существенно увеличивало резкость изображения. Листер обнаружил, что красные кровяные тельца (первым в виде размытых пятен их увидел голландский врач Ян Свамердам в 1658 году) представляют собой двояковогнутые диски, похожие на бублики, у которых вместо дырки с обеих сторон вмятины. Появление ахроматического микроскопа послужило толчком для прогресса оптического производства. В 1878 году немецкий врач Эрнст Аббе произвел серию усовершенствований микроскопа, что в результате привело к появлению прибора, почти не отличающегося от предназначенных для этих целей современных оптических устройств.

Существа, населяющие микроскопический мир, постепенно стали получать свои имена. Открытые Левенгуком микроскопи-

ческие организмы питались мелкой взвесью. Одни из них двигались при помощи маленьких жгутиков или похожих на волоски ворсинок, другие — за счет движения протоплазмы и образования псевдоподий. Эти животные получили название *простейшие* (или *protozoa*, что в переводе с греческого означает «первые животные»). Немецкий зоолог Карл Теодор Эрнст Зибольд определил их как *одноклеточные организмы*.

Микробы отличались от простейших: они были еще меньших размеров и устроены проще. Хотя некоторые из них и могли перемещаться, в большинстве своем они были неподвижны и просто росли и размножались, несмотря на то что в них не было хлорофилла и они ничуть не были похожи на животных. По этой причине их зачислили в одну группу с грибами — растениями, лишенными хлорофилла и произрастающими на органическом субстрате. Большинство современных биологов предпочитают не относить их ни к растениям, ни к животным и рассматривают бактерии как отдельный класс живых существ. «Зародыши» — это, безусловно, неправильное название. Этот термин можно применить где угодно: им можно назвать живую часть зерна (например, «зародыш пшеницы»), или половую клетку («зародышевая клетка»), или эмбриональный орган («зародышевый листок») — любой микроскопический объект, из которого может развиться жизнь.

Датский исследователь Отто Фридерик Мюллер в 1773 году сумел посредством микроскопа рассмотреть крохотные организмы настолько хорошо, что разделил их по форме на два типа: *бациллы* (в переводе с латыни означает «маленькие палочки») и *спириллы* (похожие на спирали). Когда появился ахроматический микроскоп, австрийский хирург Теодор Биллрот разглядел еще более мелкую разновидность микроорганизмов, которой он дал название кокки (в переводе с греческого «зернышки»). И наконец, немецкий ботаник Фердинанд Юлиус Кон дал микроорганизмам общее название — *бактерия* (происходит от латинского слова, также означающего «маленькая палочка»).

Пастер ввел в обращение термин *микроб* («маленькая жизнь»), который применялся относительно всех микроскопических форм жизни, будь то растение, или животное, или бактерия. Но вскоре микробами стали называть только бактерии, как, впрочем, их называют и по сей день. А все микроскопические формы жизни сегодня называют *микроорганизмами*.

Пастер первым связал происхождение многих заболеваний с микроорганизмами, что позволило ему основать новую науку — *бактериологию*, или, если использовать более общий термин, *микробиологию*. Первоначально исследования Пастера имели большее отношение к промышленности, а не к медицине. В 60-х годах

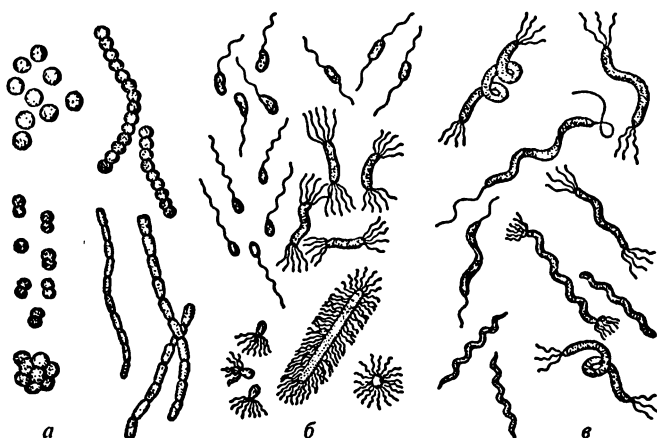
XIX века из-за болезни тутового шелкопряда производство шелка во Франции стояло на грани катастрофы. Пастер, который к тому времени уже оказал неоценимую услугу французским виноделам (см. главу 11), взялся за разрешение и этой проблемы. Вооружившись снова микроскопом, как это было при изучении асимметрических кристаллов и дрожжевых клеток, Пастер обнаружил обитающие на листьях тутового дерева микроорганизмы, которые и заражали шелкопряды. Ученый посоветовал уничтожить пораженные листья и больных червей, и эта решительная мера возымела действие.

Своими исследованиями Пастер не только оживил производство шелка во Франции — он сделал нечто гораздо большее. Обобщив свои наблюдения, Пастер сформулировал *бактериальную теорию болезней* — безусловно, одно из наиболее великих достижений медицины за всю ее историю, сделанное одним человеком, и, заметьте, не медиком, а химиком (что химики с восторгом подчеркивали).

До Пастера врачи могли рекомендовать своим пациентам только отдых, хорошее питание, свежий воздух, чистоту — и это все, за исключением мероприятий скорой помощи, которые они по случаю оказывали нуждающимся. Это делал греческий врач Гиппократ из Коса, которого называют отцом медицины, еще за 400 лет до нашей эры. Именно Гиппократ был первым, кто пропагандировал разумный подход к лечению болезней, отойдя от принятых в то время воззрений, согласно которым болезни рассматривались как проявление божественного или дьявольского. Именно Гиппократ утверждал, что эпилепсия, называемая тогда «святой болезнью», вовсе не вызвана особым отношением богов к больному, а является следствием физических нарушений в организме, поэтому и подход к ее лечению должен быть соответственным.

Учение Гиппократа всегда помнили следующие поколения врачей. Однако прогресс медицины за последующие два тысячелетия оказался на удивление незначительным. Врачи умели вскрывать нарывы, правильно совмещать и сращивать сломанные кости, прописывали некоторые лекарственные средства, которыми пользовалась народная медицина, например: хинин, получаемый из коры хинного дерева, которую издавна жевали перуанские индейцы как лечебное средство от малярии, или дигиталис, получаемый из наперстянки — растения, настоем которого знахарки давали для стимуляции сердца. Помимо этих нескольких средств (и вакцины против оспы, о чем я буду говорить позже), большинство лекарств и снадобий, прописываемых врачами после Гиппократа, чаще приближали наступление смерти, нежели отдаляли его.

Одним из знаменательных событий, произошедших за два с половиной века эры науки, стало изобретение в 1819 году стетоскопа. Автором этого простого приспособления является фран-



Разновидности бактерий: *а* — кокки, *б* — бациллы, *в* — спириллы.

Как видно на рисунке, в каждой группе есть свои подгруппы

цузский врач Рене Теофилл Гиацинт Ланне. В первоначальном варианте стетоскоп мало чем отличался от обыкновенной деревянной трубки, с помощью которой врач мог слушать звуки бие-ния сердца, чтобы потом интерпретировать их. За время, прошедшее с той поры, приспособление претерпело множество модификаций, и теперь оно является инструментом, без которого врача так же трудно представить, как и чертежника без линейки.

Поэтому неудивительно, что до XIX века даже в наиболее развитых странах время от времени вспыхивали эпидемии чумы, некоторые из них имели решающее значение для истории. Чума в Афинах, от которой умер Перикл во время Пелопоннесской войны, стала началом окончательного разрушения Греции. Падение Рима началось, вероятно, также с эпидемии чумы, которая охватила Римскую империю во времена правления Марка Аврелия. В XIV веке «черная смерть» унесла с собой четвертую часть населения Европы; чума и порох, объединившись, разрушили социальную структуру, сложившуюся в Средние века.

Безусловно, с открытием Пастером факта, что инфекционные болезни вызываются и распространяются микроорганизмами, эпидемии продолжали возникать. В Индии до сих пор время от времени вспыхивают эпидемии холеры, многие малоразвитые страны также страдают от вспышек различных инфекционных заболеваний. Эпидемии остаются одной из бед военного времени. Время от времени в различных регионах земного шара возникают новые разновидности микроорганизмов, которые быстро распространяются по всей планете. Пандемия гриппа, которая свирепствовала в 1918 году и унесла жизни 15 миллионов человек, была самой крупной эпидемией в истории человечества. Даже в

окончившейся незадолго до нее Первой мировой войне жертв было в два раза меньше.

Но тем не менее открытие Пастера значительно повлияло на судьбу человечества. Смертность среди населения Европы и Соединенных Штатов значительно снизилась, а продолжительность жизни стала постоянно возрастать. Благодаря научному подходу в изучении возбудителей инфекционных заболеваний и способов лечения этих болезней, начало которому положил Пастер, в 60-х годах XX века средняя продолжительность жизни как мужчин, так и женщин в развитых странах достигла 70 лет, тогда как за 100 лет до этого, до открытия Пастера, она составляла в тех же развитых странах при благоприятных условиях жизни всего 40 лет, а при неблагоприятных и того меньше — 25 лет. Резкий подъем продолжительности жизни населения даже не очень развитых районов земного шара произошел после Второй мировой войны.

Еще до того, как Пастер в 1865 году разработал свою теорию бактериальной природы инфекционных заболеваний, венский врач по имени Игнац Филипп Земмелвейс предпринял первую успешную атаку на бактерий, не понимая, конечно, с чем он борется. Он работал в то время в родильном отделении одной из венских больниц, в котором более 12 процентов рожениц умирали от родильной горячки. Земмелвейс обратил внимание на то, что женщины, которые рожали детей в домашних условиях при помощи необразованных повитух, практически никогда не страдали родильной горячкой. Его подозрения еще больше усилились после того, как один из врачей больницы, порезавшись при вскрытии трупа, умер от болезни, симптомы которой очень подходили на симптомы родильной горячки. Может быть, врачи и студенты переносят как-то болезнь из секционного зала в родильную палату и передают ее женщинам, которым помогают рожать? Земмелвейс настоял на том, чтобы врачи мыли руки в растворе хлорной извести. Через год смертность в родильном отделении снизилась с 12 до 1,5 процента.

Нововведение сильно разозлило старых врачей. Обиженные на то, что их посчитали причиной высокой смертности в родильных палатах, и оскорбленные тем, что их заставляли мыть руки, они выжили Земмелвейса из больницы. (Это было нетрудно сделать, так как тот был венгром, а Венгрия как раз в это время восстала против австрийских правителей.) Земмелвейс уехал в Будапешт, где уже опробованным способом также смог снизить смертность в палатах рожениц, а в Вене все пошло по-прежнему: смертность рожениц в венских больницах еще на 10 лет или что-то около того вернулась к исходным цифрам. Земмелвейс умер в 1865 году в возрасте 47 лет от родильной горячки, случайно заразившись. Он чуть-чуть не дожил до того дня, когда его подозрения отно-

сительно передачи болезни получили научное доказательство. Это был тот самый год, когда Пастер обнаружил микроорганизмы, вызывавшие заболевания тутового шелкопряда, это был тот самый год, когда английский хирург Джозеф Листер (сын изобретателя ахроматического микроскопа) независимо от Пастера начал химическую атаку на бактерии.

Листер прибегнул к сильнодействующему средству — фенолу (карболовой кислоте, или просто карболке). Впервые Листер применил карболку при перевязке больных со сложными переломами. До той поры сколь-нибудь сложное ранение почти всегда осложнялось инфекцией. Безусловно, карболка разрушила ткани вокруг раны, но она и убила находящиеся в ней бактерии. Больные стали удивительно быстро выздоравливать.

Воодушевленный успехом, Листер начал обрызгивать операционную карболкой. Конечно, это было не очень приятно для тех, кто должен был дышать ее парами, но это спасало больным жизнь. Как и в случае Земмельвейса, далеко не все поддерживали нововведения Листера, но благодаря работам Пастера антисептические мероприятия уже получили свое научное обоснование, поэтому Листер довольно легко выиграл борьбу с оппозицией.

У самого Пастера во Франции дела продвигались не так легко (в отличие от Листера он не получил звания доктора медицины), но он убедил хирургов в том, что инструменты необходимо кипятить, а перевязочный материал подвергать действию пара. Стерилизация паром по Пастеру заменила неприятную процедуру обработки карболкой. Врачи занялись поиском других антисептиков, более мягких, которые бы эффективно убивали бактерии без чрезмерного разрушения живых тканей. Вскоре такие антисептики были найдены. В 1873 году французский врач Казимир Жозеф Давайн доложил об антисептических свойствах йода. Сегодня настойку йода (то есть спиртовой раствор йода) можно найти в любой домашней аптечке. Ею или другой подобной жидкостью обрабатывают любую царапину, предупреждая развитие несметного количества возможных инфекций.

Поиски методов защиты от инфекций продолжались. Врачи уже искали не столько новые способы *антисептики*, то есть борьбы с бактериями, попавшими в рану, сколько методы *асептики*, или предупреждения их попадания на раневые поверхности. Американский хирург Уильям Стюарт Халстед в 1890 году ввел в практику использование стерильных резиновых перчаток при проведении операций, а в 1900 году британский врач Уильям Хантер добавил к ним марлевую маску, которая предохраняла пациента от микробов, содержащихся в выдыхаемом хирургом воздухе.

Тем временем немецкий врач Роберт Кох занялся тем, что начал устанавливать, какие бактерии вызывают определенные болезни. Для того чтобы идентифицировать определенные бак-

терии, Кох сделал весьма важное усовершенствование формы питательной среды, то есть набора питательных веществ, на которых выращивают бактериальную культуру. Если Пастер использовал жидкие питательные среды, то Кох стал применять твердые среды. Он сажал выделенные бактерии на желатин (впоследствии желатин заменили на агар, желатиноподобное вещество, получаемое из морских водорослей). Если при помощи тонкой иглы поместить одну-единственную бактерию на такую среду, то она начнет размножаться. По поверхности застывшего агара дочерние микроорганизмы не могут двигаться, как это происходит в жидкости, и вскоре вокруг того места, куда поместили бактерию, появится целая колония, состоящая из точно таких же бактерий. Юлиус Рихард Петри, ассистент Коха, стал использовать для выращивания бактерий специально сделанные для этой цели мелкие стеклянные плошки с крышками, чтобы защитить культуру от случайного попадания находящихся в воздухе спор других микроорганизмов. Эти стеклянные плошки стали называть чашками Петри, и они до сих пор используются для выращивания бактериальных культур.

Таким образом можно получить из одной бактериальной клетки целую колонию бактерий и проверить затем на экспериментальных животных, какое заболевание эти микроорганизмы способны вызвать. Такой способ позволяет не только идентифицировать возбудитель заболевания, но и проводить эксперименты, направленные на поиски средств, способных противостоять этим бактериям.

С помощью своего нового метода Кох выделил бациллы, вызывающие сибирскую язву, а в 1882 году бациллы, вызывающие туберкулез. В 1884 году он выделил бактерии, которые являются причиной заболевания холерой. Примеру Коха последовали и другие ученые. Например, в 1883 году немецкий физиолог Эдвин Клебс выделил бактерии, вызывающие дифтерию. За разработанный им метод Кох в 1905 году получил Нобелевскую премию по медицине и физиологии.

Таким образом, было установлено не только существование бактерий, но и их роль в возникновении инфекционных болезней, и следующей задачей для ученых стала необходимость найти средства, которые бы эффективно уничтожали бактерий, не причиняя вреда человеку. За разрешение этой проблемы взялся немецкий врач и бактериолог Пауль Эрлих, который работал вместе с Кохом. Он занялся поисками той «волшебной пули», безопасной для человека и смертельной для бактерий.

Эрлих интересовался красителями, которые окрашивали бактерии. Красители вообще необходимы для изучения клеток. В естественном состоянии клетки бесцветны и прозрачны, поэто-

му в них мало что можно рассмотреть. Первые микробиологи пробовали окрашивать клетки, но только после открытия Перкином анилиновых красителей (см. главу 10) этот метод стал широко применяться на практике. И хотя Эрлих не был первым, кто применил синтетические красители для окрашивания клеток, он детально разработал метод окрашивания, что впоследствии позволило Флеммингу изучать деление клеток митозом, а Фольгену — ДНК в хромосомах (см. главу 12).

Но у Эрлиха был иной замысел, он обратился к красителям как к потенциальным бактерицидным средствам. Он предположил, что если краситель окрашивает бактерии лучше, чем другие клетки, то он может и убить бактерии, не принося вреда остальным клеткам. Не попробовать ли ввести небольшое количество красителя в кровь так, чтобы он не повредил клеткам организма больного? В 1907 году Эрлих разработал краситель, так называемый *трипановый красный*, который окрашивал трипаносомы — микроорганизмы, ответственные за развитие сонной болезни, от которой в Африке ежегодно умирали тысячи людей и возбудителей которой переносят мухи цеце. Трипановый красный, введенный в кровь в соответствующей дозе, убивал трипаносомы, не повреждая клетки организма больного.

Однако полученный результат не удовлетворил Эрлиха, ему хотелось найти более надежное средство для борьбы с микроорганизмами. Предположив, что активной, в смысле токсичности, частью молекулы трипанового красного является азогруппа, состоящая из двух атомов азота — $N = N -$, Эрлих решил, что соединения с подобной комбинацией атомов мышьяка будут обладать гораздо более сильным бактерицидным действием. По своим химическим свойствам мышьяк похож на азот, но по токсичности он значительно превосходит азот. Эрлих начал тестировать почти все без разбора соединения мышьяка на бактерицидную активность, присваивая им по мере изучения номера. В 1909 году японский студент Сахациро Хата, помогавший Эрлиху в его исследованиях, проверял действие соединения номер 606, оказавшегося неактивным в отношении трипаносом, на бактериях, вызывающих сифилис, которые из-за их спиральной формы называли спирохетами. Оказалось, что это соединение обладает сильным противосифилитическим действием.

Эрлих сразу же понял, что он наткнулся на нечто гораздо более важное, чем лечение сонной болезни, заболевания, встречающегося лишь в тропиках. Сифилис был тайным бичом Европы уже более 400 лет, еще со времен Колумба (считается, что сифилис в Европу завезли матросы Колумба из Южной Америки; в свою очередь европейцы передали американским индейцам оспу). И дело заключалось не только в том, что в то время не существовало лекарства от сифилиса, — ханжество окутало эту болезнь завесой молчания, что позволяло ей беспрепятственно распространяться.

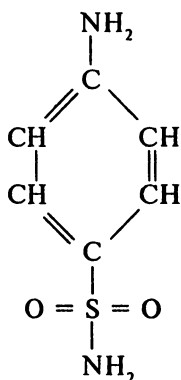
Остаток своей жизни Эрлих (он умер в 1915 году) посвятил попыткам победить сифилис при помощи *вещества 606* (он дал ему название *сальварсан*, что означает *безопасный мышьяк*). Химическое название этого вещества *арсфенамин*. С его помощью можно было победить болезнь, но применение арсфенамина в терапевтических целях все-таки было связано с риском, поэтому Эрлих проводил лечение в больницах.

Эрлих стал основоположником новой группы лекарственных средств — химиотерапевтических препаратов. Фармакология, наука о действии химических веществ (лекарств) на организм, наконец-то обрела себя как помощник медицины XX века. Арсфенамин стал первым синтетическим лекарственным соединением, в отличие от средств растительного происхождения, таких, как хинин, в отличие от минеральных веществ, применяемых Парацельсом, и прочих существовавших ранее лекарств, обладающих подобным действием.

Естественно, с появлением первого синтетического лекарственного вещества появилась и надежда, что для каждой болезни можно найти соответствующее противоядие. Однако на протяжении четверти столетия после открытия Эрлиха попытки изготовить искусственные лекарственные вещества почти не имели успеха. Удача сопутствовала лишь немецким химикам, синтезировавшим в 1924 году *плазموхин* и в 1931 году *атабрин*, которые использовались против малярии вместо хинина. (Во время Второй мировой войны эти средства очень помогли ведшим сражения в джунглях западным войскам, так как в то время японцы удерживали Яву, основной источник мировых запасов хинина, который, как и каучук, попал в Юго-Восточную Азию из Южной Америки.)

В 1932 году в этом направлении был совершен прорыв. Немецкий химик по имени Герхард Домагк исследовал антимикробное действие различных красителей — он вводил их инфицированным мышам. Он попробовал ввести новый красный краситель *пронтозил* мышам, инфицированным смертоносным гемолитическим стрептококком. Мыши выжили! Тогда он ввел пронтозил собственной дочери, умирающей от заражения крови стафилококковой инфекцией. Его дочь также пошла на поправку. За три года пронтозил приобрел мировую славу как лекарство, способное вылечить стрептококковую инфекцию у человека. (В России пронтозил был известен под названием *красный стрептоцид*. — *Примеч. пер.*) Как ни странно, но в пробирке пронтозил не оказывал никакого действия на стрептококков — он был способен убивать микробов только в живом организме. Исследователь из Пастеровского института в Париже Жак Трефо предположил, что в организме пронтозил превращается в некое другое вещество, которое и оказывает действие на бактерий. Он со своими сотрудниками расчленил молекулу пронтозила на фрагменты и выделил

ют, благодаря которому краситель и обладал удивительным антимикробным действием. Этому фрагменту было дано название *сульфаниламид* (в России известен как *белый стрептоцид*, или просто *стрептоцид*). Оказалось, что это вещество было синтезировано еще в 1908 году, о его синтезе было доложено, но никто не отнесся к новому соединению с надлежащим вниманием, и вскоре о нем забыли. Структура сульфаниламида такова:



Он стал первым из «чудесных лекарств» (так в быту стали называть антибактериальные средства). Перед сульфаниламидом не могли устоять никакие бактерии. Химики обнаружили, что если замещать атомы водорода в группе, содержащей серу, то можно получить целую серию соединений, обладающих антибактериальным действием, но в то же время немного отличающихся по фармакологическим свойствам (длительности действия, способности всасываться из желудочно-кишечного тракта. — *Примеч. пер.*). Так, в 1937 году в арсенале лекарственных средств появился сульфапиридин, в 1939 году — сульфатиазол, в 1941 году — сульфадiazин (русские названия двух последних *норсульфазол* и *сульфадiazин* соответственно. — *Примеч. пер.*). При лечении какого-либо инфекционного заболевания у врачей появилась возможность выбирать подходящее средство из целой группы препаратов, которые получили название *сульфаниламидные препараты*. В развитых в отношении медицины странах с появлением этих лекарственных средств смертность от инфекционного заболевания пневмонии, вызываемой преимущественно пневмококками, существенно снизилась.

В 1939 году Домагк был удостоен Нобелевской премии по медицине и физиологии. Но когда ученый отправил в Комитет по нобелевским премиям обычное письмо, в котором выражал признательность за оказанную ему честь, он был тут же арестован гестапо. Нацисты, по причинам, известным, вероятно, только им одним, препятствовали каким-либо внешним контактам немецких

ученых, и Домагк посчитал, что ему лучше отказаться от этой премии. После окончания Второй мировой войны, когда он стал свободен в своих действиях, ученый отправился в Стокгольм и, наконец, получил свою премию официально.

Но сульфаниламидные препараты недолго переживали триумф: вскоре были открыты куда более мощные антибактериальные средства — антибиотики, которые сразу же затмили славу сульфаниламидов.

Любая живая материя (в том числе и человек) со временем умирает, после чего попадает в землю, где гниет и разрушается. Вместе с мертвой материей в почву попадают и самые различные болезнетворные бактерии, которыми были инфицированы живые существа. Но почему же тогда в почве содержится не так уж и много микробов, способных вызвать болезни? Оказывается, лишь очень немногие из них (к этим немногим относятся и бациллы, вызывающие сибирскую язву) способны выжить в земле. У ученых появилось предположение, что в земле содержатся микроорганизмы или вещества, способные разрушать бактерии. Еще в 1877 году Пастер обратил внимание на тот факт, что некоторые бактерии погибают в присутствии других бактерий. А если это так, то, поскольку в почве содержатся самые разнообразные микроорганизмы, среди них можно найти и такие, которые будут вызывать гибель других. Согласно расчетам, в каждом акре земли содержится 2000 фунтов плесневых грибов, 1000 фунтов бактерий, 200 фунтов простейших, 100 фунтов водорослей и 100 фунтов дрожжей.

Одним из ученых, занимавшихся направленными поисками бактерицидных средств в почве, был американский исследователь французского происхождения Рене Жюль Дюбо. В 1939 году он получил из микроорганизмов, называемых *Bacillus brevis*, экстракт *тиротрицин*, из которого впоследствии были получены два вещества, способные убивать бактерии, — *грамицидин* и *тироцидин*. Как оказалось, оба этих вещества были пептидами, состоящими из D-аминокислот — зеркального отображения обычных L-аминокислот, из которых состоит большинство природных белков.

Грамицидин и тироцидин были первыми антибиотиками, полученными подобным образом. Но как выяснилось, антибиотик, который оказался несоизмеримо более важным для медицины, был открыт — и только описан в научной статье — 12 годами раньше.

Британский бактериолог Александер Флеминг однажды утром обнаружил, что некоторые культуры стафилококков (бактерий, вызывающих гнойное воспаление), которые он выращивал в чашках Петри, содержат некие загрязнения, которые убивают бактерий: на поверхности среды, на которой выращивались куль-

туры, появились небольшие круги — участки, на которых стафилококки были уничтожены. Флеминг, который как раз интересовался антисептиками (он обнаружил, что фермент *лизоцим*, содержащийся в слезах, обладает антисептическими свойствами), тут же занялся разрешением вопроса: что попало в чашки Петри и оказало столь разительное действие на бактерии? Оказалось, это была хлебная плесень, *Penicillium notatum*. Флеминг высказал предположение, что плесень вырабатывает некое вещество (*пенициллин* — так он его назвал), которое и вызывает гибель стафилококков. В 1929 году Флеминг, как и положено, опубликовал результаты своих исследований в научном журнале, но научная общественность не оказала открытию ученого должного внимания.

Только 10 лет спустя британский биохимик Говард Уолтер Флоури и его коллега, выходец из Германии, Эрнст Борис Чейн заинтересовались уже почти полностью забытым открытием Флеминга и предприняли попытки выделить вещество, обладающее антибактериальным действием. В 1941 году они получили из хлебной плесени экстракт, который при клинических испытаниях оказался эффективным против целого ряда грамположительных бактерий (бактерий, поглощающих краситель, который в 1884 году разработал датский бактериолог Ханс Кристиан Иоахим Грам).

Поскольку во время войны в Великобритании не было возможности заняться производством нового лекарства, Флоури отправился в Соединенные Штаты Америки, где помог в разработке программы развития методов очистки пенициллина и ускорения его образования плесенью. В 1943 году было зарегистрировано 500 случаев излечения при помощи пенициллина, и к окончанию войны уже происходило широкомасштабное промышленное производство пенициллина и его использование в клинике. Пенициллин в значительной мере потеснил сульфаниламидные препараты, он стал (и является до сих пор) одним из наиболее часто употребляемых препаратов в медицинской практике. Пенициллин эффективен в борьбе с целым набором инфекционных заболеваний, в число которых входят пневмония, гонорея, сифилис, родильная горячка, скарлатина, менингит. (Набор видов микроорганизмов, на которых антибиотик оказывает губительное действие, называют *спектром антибактериального действия* антибиотика.) Более того, пенициллин практически не обладает токсическими свойствами и не оказывает на организм нежелательных побочных эффектов (исключением являются лица, обладающие повышенной чувствительностью к пенициллину).

В 1945 году Флеминг, Флоури и Чейн за открытие и получение пенициллина получили Нобелевскую премию в области медицины и физиологии. Пенициллин положил начало многочисленным исследованиям, посвященным поиску новых антибиотиков (термин «антибиотик» ввел в обращение в 1942 го-

ду бактериолог из Рутгерского университета Зелман Абрахам Ваксман).

В 1943 году Ваксман получил из почвенной плесени рода *Streptomyces* антибиотик, известный под названием *стрептомицин*. Стрептомицин оказался эффективным против грамотрицательных бактерий (тех, которые не накапливают в себе краситель Грама и, следовательно, не окрашиваются им). Настоящую славу стрептомицину принесла его способность оказывать губительное действие на туберкулезные палочки. Правда, в отличие от пенициллина, стрептомицин оказался довольно токсичным, поэтому применять его следовало с осторожностью.

За открытие стрептомицина Ваксман в 1952 году получил Нобелевскую премию в области медицины и физиологии.

В 1947 году из почвенной плесени рода *Streptomyces* был получен другой антибиотик — *хлорамфеникол*, который вызывал гибель не только грамположительных и грамотрицательных бактерий, но и эффективно сражался с более мелкими микроорганизмами, особенно с теми, которые вызывают брюшной тиф и пситтакоз, или попугайную болезнь. Однако виду высокой токсичности применение этого антибиотика требует особой осторожности.

Затем появились антибиотики широкого спектра действия, найденные после тщательнейшего исследования многих тысяч образцов почвы: *ауреомицин*, *террамицин*, *ахромицин* и др. Первый из них, ауреомицин, в 1944 году выделил Бенжамин Минг Диггар со своими сотрудниками, в 1948 году было запущено промышленное производство этого антибиотика. Все три вышеуказанных антибиотика принадлежали к одной группе, которая получила название тетрациклины, так как их молекулы состояли из четырех сочлененных шестичленных колец. Тетрациклины оказались эффективными против широкого спектра микроорганизмов, и благодаря антибиотикам этой группы частота инфекционных заболеваний значительно снизилась. (Постоянное совершенствование человека в борьбе с инфекционными заболеваниями привело к увеличению смертности от метаболических нарушений в организме: так, за последние 100 лет заболеваемость диабетом — наиболее частым проявлением подобных нарушений — возросла более чем в 10 раз.)

Однако увеличение количества химиотерапевтических средств и все более широкое внедрение химиотерапии привело к некоторым разочарованиям, главным из которых стало появление штаммов бактерий, устойчивых к действию антибактериальных средств. Так, например, в 1939 году сульфаниламидные препараты были эффективными практически во всех случаях заболевания менингитом и пневмонией, вызванной пневмококками. Через 20 лет применение препаратов этой группы при тех же заболеваниях оказалось эффективным только в 50 процентах случаев. У антибиотиков со временем также наблюдается снижение анти-

бактериальной активности. Это вовсе не означает, что бактерии «учатся» противостоять действию антибиотиков; дело в том, что в условиях применения антибактериальных средств, когда «нормальные» бактерии быстро погибают, бактерии-мутанты, устойчивые к действию лекарства, начинают «цвести пышным цветом» и множиться. Опасность появления устойчивых штаммов возрастает в больницах, где антибиотиками пользуются постоянно, а у больных, как известно, и так снижена сопротивляемость к инфекциям. Некоторые новые штаммы стафилококков с удивительным упорством противостоят действию антибиотиков. Эти «больничные» стафилококки становятся предметом особого беспокойства медперсонала, обслуживающего родильные отделения. В 1961 году от пневмонии, вызванной устойчивыми штаммами бактерий, едва не погибла известная кинозвезда Элизабет Тейлор.

К счастью, антибиотиков в арсенале врачей сегодня достаточно много, поэтому, если один из них оказывается неэффективным, его можно заменить другим. Появились как новые антибиотики, так и модифицированные химически старые (так называемые *полусинтетические* антибиотики), способные ограничивать образование мутантных штаммов. Идеальным было бы найти такой антибиотик, которому не смогли бы противостоять никакие мутантные бактерии. Тогда бы не осталось ни одной бактерии, способной размножаться. Антибиотики с подобными свойствами создаются. Например, в 1960 году был создан препарат *стафциллин*, являющийся модификацией пенициллина. Этот препарат полусинтетический, и поскольку его структура незнакома бактериям, они не способны разрушить молекулу антибиотика своим ферментом *пенициллиназой* (и таким образом лишить его активности, что впервые обнаружил Чейн), который устойчивые штаммы вырабатывают против обычного пенициллина. Следовательно, антибиотики подобного типа эффективны против устойчивых штаммов; кстати, именно стафциллин спас в свое время жизнь Элизабет Тейлор. Правда, позже появились штаммы стрептококков, устойчивые и к синтетическим пенициллинам, и перед учеными встала задача научиться бороться с ними. Вероятно, такая карусель будет продолжаться всегда. Остается только надеяться на то, что завидное упорство бактерий в конце концов не сможет противостоять не менее завидному упорству химиков и фармакологов в поисках новых антибактериальных средств.

Подобная проблема развития устойчивости возникла и в борьбе человека с врагами, более крупными по размеру, чем бактерии, — насекомыми, которые не только конкурируют с человеком за пищу, но и еще переносят болезни. Наиболее сильное средство от насекомых появилось в 1939 году, это *дихлордифенилтрихлортан*, который разработал швейцарский химик Пауль Мюллер и который более известен в мире как ДДТ. Достижение Мюллера

было высоко оценено, в 1948 году он получил Нобелевскую премию по медицине и физиологии.

К тому времени как ДДТ стал широко применяться, появилось большое количество комнатных мух, устойчивых к действию *инсектицидов*, или, как их называют, используя более общий термин, *пестицидов* (пестициды — средства для борьбы с вредителями, паразитами. — *Примеч. пер.*). Поэтому для борьбы с ними приходилось изобретать все новые и новые средства.

В адрес избыточной химизации средств борьбы человека с другими формами жизни существует достаточно много критики. Некоторые беспокоятся, что бульшая часть человеческой популяции будет существовать исключительно благодаря достижениям химии, и если когда-либо произойдет спад технологической организации общества, пусть даже временный, произойдет великая трагедия, человечество вымрет, так как потеряет природную устойчивость к инфекционным заболеваниям.

Что касается пестицидов, американская писательница Рэйчел Луиза Карсон, автор научно-популярных произведений, в 1962 году выпустила книгу «Беззвучная весна», в которой она описывает драматические события, когда человек в борьбе с вредителями уничтожил не только безвредные, но и все полезные виды живых существ. Более того, Карсон утверждает, что бездумное разрушение живого может привести к нарушению равновесия в природе, при котором существование одних видов зависит от других, и в конце концов человек вместо того, чтобы принести себе пользу, причинит ущерб. Наука, изучающая взаимосвязи между живыми организмами, называется *экологией*, и нет сомнений в том, что писательница самым жестким образом обратила внимание читателей на этот раздел биологии.

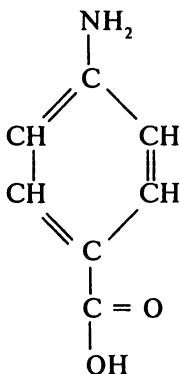
Безусловно, не следует сдерживать технологический прогресс или не предпринимать никаких попыток в борьбе с насекомыми (в противном случае придется заплатить большую цену в виде дефицита продуктов питания и распространения различных заболеваний), решение этой проблемы заключается в разработке более избирательных методов борьбы с вредителями и паразитами, таких, которые бы не нарушали общего экологического равновесия на планете.

Например, рядом с насекомыми живут их враги. Это или насекомые-паразиты, или насекомые, которые питаются этими насекомыми. Если искусственно поддерживать тех или (и) других, то можно направленно снизить численность популяции нежелательных насекомых. Можно пойти другим путем: отпугивать насекомых звуками или запахами или привлекать их смертоносными приманками. Можно стерилизовать насекомых действием радиации. Но в каждом случае наши попытки должны быть направлены исключительно на уменьшение популяции нежелательных насекомых и не затрагивать другие виды.

Американский биолог Кэррол Милтон Уильямс предложил оригинальный метод борьбы с насекомыми, основанный на использовании их собственных гормонов. Насекомые периодически линяют и проходят две или три четкие стадии развития: личинки, куколки и взрослого насекомого. Переход из одной стадии развития в другую — процесс сложный, и он контролируется гормонами. Один из них, ювенильный гормон, тормозит до определенного времени взросление насекомого. Если выделить этот гормон и нанести его на насекомое, то оно никогда не разовьется до взрослой стадии и в конце концов погибнет. У каждого вида насекомых свой ювенильный гормон, и действует он исключительно на этот вид, поэтому этот гормон можно использовать для борьбы именно с этими насекомыми, не причиняя вреда другим. Установив структуру гормона, можно изготовить его синтетический аналог, который будет гораздо более дешевым и не менее эффективным.

Другими словами, не следует бояться, что научный прогресс принесет человечеству непоправимый ущерб, следует только правильно пользоваться его плодами — разумно и осторожно.

Но вернемся к химиотерапевтическим средствам. Как они действуют? Наиболее вероятным выглядит предположение, что каждое из антибактериальных средств по конкурентному механизму ингибирует какой-то ключевой фермент, необходимый для жизнедеятельности микроорганизмов. Это наглядно показано для сульфаниламидных препаратов. По строению сульфаниламиды очень похожи на пара-аминобензойную кислоту (обычно ее название пишется следующим образом: *p*-аминобензойная кислота), структура которой такова:



p-Аминобензойная кислота необходима для синтеза *фолиевой кислоты*, важного вещества для жизнедеятельности не только микроорганизмов, но и любой клетки. Сульфаниламидные пре-

параты, попадая в бактериальную клетку, блокируют фермент, который синтезирует фолиевую кислоту из *n*-аминобензойной кислоты, а без фолиевой кислоты клетки не могут расти и размножаться. Клетки организма человека при этом не страдают; хотя в них и происходит то же самое, но, в отличие от бактериальных, клетки человека способны усваивать фолиевую кислоту, поступающую извне с пищей, поэтому они и не испытывают ее дефицита. В человеческом организме нет таких ферментов, которые бы блокировались сульфаниламидными препаратами в тех концентрациях, в которых они используются при терапии инфекционных заболеваний.

Даже если бактериальные клетки и клетки человеческого организма используют в своей жизнедеятельности одни и те же ферменты, можно найти другие способы избирательного воздействия на бактерии. Бактериальные ферменты могут быть более чувствительными к данному лекарству по сравнению с ферментами человека, поэтому лекарство будет способно убить бактерии, не причинив вреда клеткам организма-хозяина. Или же можно так сконструировать молекулу лекарственного вещества, что она будет легко проникать в бактериальную клетку, но мембрана клеток человека для нее будет непроницаема. Пенициллин, например, нарушает синтез клеточной стенки, которая есть у бактериальных клеток, но которая отсутствует у клеток животных.

Являются ли антибиотики конкурентными ингибиторами ферментов? Вопрос остается открытым, хотя в случае некоторых антибиотиков есть достаточно оснований для того, чтобы ответить на этот вопрос утвердительно.

Вспомним грамицидин и тироцидин, о которых я упоминал ранее. Это, как помните, пептиды, состоящие из D-аминокислот. Вполне возможно, что эти «ненормальные» аминокислоты выводят из строя ферменты, синтезирующие вещества из природных L-аминокислот. Другой антибиотик пептидной природы, *бацитрацин*, содержит в своем составе орнитин, поэтому он может ингибировать фермент, использующий в своей работе аргинин, который по структуре очень похож на орнитин. Подобная ситуация наблюдается и в случае стрептомицина: его молекула содержит необычную разновидность сахара, поэтому стрептомицин может взаимодействовать с ферментом, субстратом для которого в живых клетках являются обычные сахара. Опять же, молекула хлорамфеникола по структуре напоминает молекулу аминокислоты фенилаланина, аналогичным образом фрагмент молекулы пенициллина похож на аминокислоту цистеин — в обоих случаях вероятность конкурентного ингибирования высока.

Весьма убедительное доказательство конкурентного действия антибиотиков получено при исследовании механизма действия *нурпомидина*, вещества, продуцируемого плесневыми грибами рода *Streptomyces*. По своей структуре это вещество очень напоми-

нает нуклеотиды (структурные единицы нуклеиновых кислот), и Майкл Ярмолински и его сотрудники из университета Джона Хопкинса показали, что пурамицин, конкурируя с транспортными РНК, нарушает синтез белков в бактериальной клетке. Стрептомицин также взаимодействует с транспортными РНК, что приводит к неправильному считыванию генетического кода и синтезу ненужных клетке белков. К сожалению, свойство антибиотиков взаимодействовать с транспортными РНК и нарушать синтез необходимых белков делает их токсичными не только для бактериальных клеток, но и для клеток человеческого организма. По этой причине пурамицин как лекарственное средство не используется вообще, а стрептомицин применяют с большой долей осторожности.

Вирусы

Для многих людей остается непонятным: почему антибиотики, эти «чудесные лекарства», столь эффективные в случае бактериальных инфекций, оказываются бессильными против заболеваний, имеющих вирусную природу. Поскольку вирусы, помимо всего прочего, вызывают заболевание только тогда, когда они размножаются в организме человека, почему нельзя нарушить систему размножения вирусов? Ведь вмешался же человек в систему размножения бактерий! Ответ очень прост, и как только вы поймете, как размножаются вирусы, вы сами сможете на этот вопрос ответить. Поскольку вирусы являются абсолютными паразитами, они не способны размножаться где бы то ни было, за исключением клеток организма-хозяина. По этой причине они имеют весьма неразвитую систему метаболизма, если имеют ее вообще, — она им просто не нужна. Для воспроизводства себе подобных они пользуются материалом клетки, в которую попадают, и делают это весьма эффективно. Множатся они быстро, уже через 25 минут вместо одного вируса в клетке их становится 200. Поэтому очень трудно лишить вирус материала для воспроизводства или нарушить механизм размножения вирусов, не повредив саму клетку, в которой они находятся.

Биологи открыли вирусы относительно недавно, это открытие явилось результатом обнаружения все более и более простых форм жизни. Думаю, что лучше всего начать рассказ об этом с истории открытия причины малярии.

Из года в год малярия свирепствовала на Земле и уносила больше жизней, чем какое-либо другое инфекционное заболевание. До относительно недавнего времени от малярии ежегодно страдало около 10 процентов населения планеты, каждый год от нее умирало примерно 3 миллиона человек. До 1880 года считалось, что причиной малярии является сырой, наполненный гни-

лостным запахом воздух в болотистых местностях (*mala aria* в переводе с итальянского «плохой воздух»). Позднее французский бактериолог Шарль Луи Алфонс Лаверан установил, что красные клетки крови зараженных малярией людей буквально напигованы простейшими из рода *Plasmodium*. (За это открытие Лаверан в 1907 году был удостоен звания лауреата Нобелевской премии в области медицины и физиологии.)

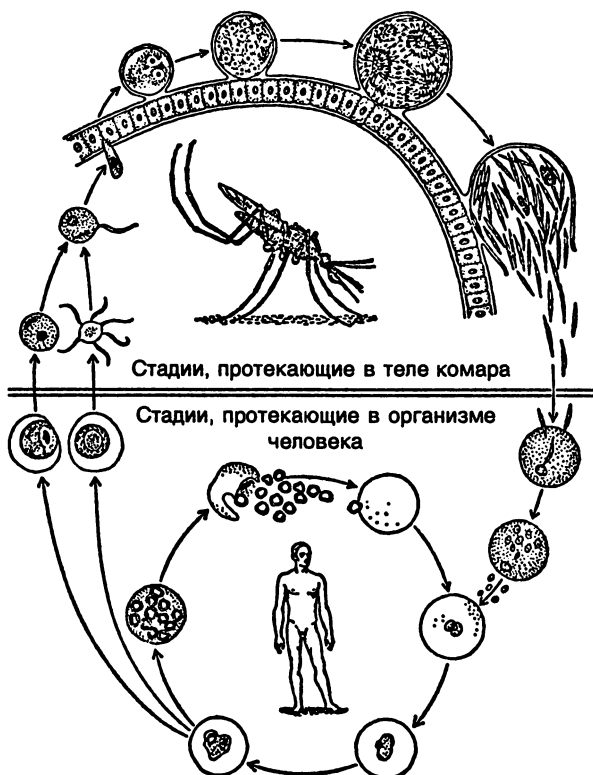
В начале 90-х годов XIX века британский врач по имени Патрик Мэнсон, который руководил миссионерской больницей в Гонконге, обратил внимание на тот факт, что в болотистых местностях, помимо сырого воздуха, есть и много комаров. Мэнсон предположил, что комары каким-то образом способствуют распространению малярии. Британский врач Рональд Росс, работавший в Индии, развил эту идею; ему удалось показать, что часть жизненного цикла малярийных паразитов и в самом деле проходит в комарах рода *Anopheles*. Паразиты попадают в насекомых, когда те сосут кровь человека, больного малярией, после чего комары передают инфекцию каждому, кого они укусят в следующий раз.

Росс впервые пролил свет на путь распространения инфекции, показав, что переносчиком малярии являются насекомые. Его работа была высоко оценена, в 1902 году Росс получил Нобелевскую премию по медицине и физиологии.

Открытие Росса указало медицине того времени на простой и эффективный способ приостановки распространения болезни — следовало уничтожить насекомых, переносчиков ее возбудителя. Достаточно осушить болота, очистить водоемы со стоячей водой, уничтожить с помощью инсектицидов насекомых — и болезнь будет приостановлена. После Второй мировой войны на многих территориях планеты благодаря указанным мерам люди забыли о малярии. По крайней мере, количество умерших от этого заболевания в мире снизилось на одну треть от максимальной.

В виде малярии медики столкнулись с первым инфекционным заболеванием, вызываемым микроорганизмами, не являющимися бактериями (в данном случае простейшими). Вскоре после этого была установлена причина и другого заболевания, не связанного с бактериальной инфекцией. Это была беспощадная желтая лихорадка, от которой во время эпидемии 1898 года в Рио-де-Жанейро умерло 95 процентов зараженных. После того как заболевание перекинулось на Кубу, туда для выяснения причин заболевания из Соединенных Штатов Америки отправилась комиссия, возглавляемая бактериологом Уолтером Ридом.

Рид предположил, что переносчиком инфекции являются те же комары (к тому времени было уже установлено, что эти кровососущие насекомые виновны в распространении малярии). Рид установил, что при непосредственном контакте здорового человека с больным заболевание не передается, не передается оно и через



Цикл развития малярийного плазмодия (*Pe malaria*) — возбудителя малярии

одежду или постельные принадлежности. Тогда некоторые из врачей, членов комиссии, пошли на риск и позволили укусить себя комарам, которые до этого сосали кровь больного желтой лихорадкой. Все они заболели, один из отважных исследователей, Джесс Уильям Лейзеар, умер. Виновники эпидемии были найдены, ими действительно оказались комары *Aedes aegypti*. Эпидемия на Кубе была приостановлена, и с той поры в государствах с развитой системой здравоохранения желтая лихорадка уже не считалась серьезным заболеванием.

Третьим примером инфекционного заболевания, не имеющего бактериальной природы, является брюшной тиф. Это заболевание распространено в Северной Африке, в Европу оно попало через Испанию во время длительной войны испанцев с марокканцами, населяющими Северную Африку. Это чрезвычайно заразное заболевание буквально опустошало целые государства. В Первую мировую войну австрийские войска бежали из Сербии, спасаясь от тифа, солдаты сербской армии оказались в неравном

положении — бежать им было некуда. В ту войну эпидемия тифа в России и Польше унесла около 3 миллионов жизней — столько же, сколько русских и поляков погибло в результате военных действий.

В начале XX столетия французский бактериолог Шарль Николь, впоследствии директор тунисского филиала Института Пастера, обратил внимание на тот факт, что, несмотря на большую распространенность тифа в городах, для которых характерно большое скопление населения, не было случаев заражения этим заболеванием в больницах и госпиталях. Больницы были переполнены, врачи, сестры, сиделки постоянно контактировали с больными тифом, однако внутри больницы тиф не распространялся. Николь стал размышлять, что же происходит с больным тифом после попадания его в больницу, и пришел к выводу, что наиболее важным мероприятием является санобработка больного при поступлении, а именно тщательное мытье и сжигание одежды, буквально кишашей вшами. Николь, решив, что переносчиками тифа могут служить вши, проверил правильность своего предположения опытным путем. Предположение оказалось верным.

В 1928 году Николь за свое открытие получил Нобелевскую премию по медицине и физиологии. Благодаря установлению переносчика заболевания, а также открытию мощного инсектицида ДДТ во время Второй мировой войны тиф уже не смог предпринять смертоносный поход на Европу. В январе 1944 года ДДТ был введен в практику поголовной санобработки. Впервые в истории зимняя эпидемия тифа (в это время года одежда практически не меняется, поэтому ее заражение вшами происходило наиболее часто) была предупреждена. Таким же образом в конце 1945 года была предупреждена эпидемия тифа в Японии после ее оккупации американскими войсками. До второй половины XX века большую часть военных жертв уносили эпидемии.

Брюшной тиф, как и желтую лихорадку, вызывают живые организмы, по размеру меньшие, чем бактерии, и сейчас мы с вами перенесемся в странный и удивительный мир, населенный ими.

Для того чтобы этот мир лучше представить, давайте сравним размеры биологических объектов в порядке их уменьшения. Для начала возьмем человеческую яйцеклетку. В диаметре она имеет около 100 микрон ($1 \text{ микрон} = \frac{1}{1000000} \text{ метра}$), и ее можно лишь едва различить невооруженным глазом. Парамеция, крупное простейшее, движения которой в капле воды можно увидеть в ярком свете, имеет примерно такой же размер. Большинство клеток человеческого организма по размеру в 10 раз меньше, их диаметр составляет только 10 микрон, и увидеть их можно только под микроскопом. Красные кровяные клетки еще меньше, их

наибольший диаметр составляет всего 7 микрон. Размеры бактерий меньше, чем размеры обычных клеток: палочки имеют только 2 микрона в длину, а диаметр самых мелких кокков не превышает 0,4 микрона, под обычным микроскопом их едва можно рассмотреть.

Эти кокки являются примером организмов, обладающих минимально возможным объемом, в который природа смогла втиснуть метаболическую систему, необходимую для независимого существования вида. Все остальные микроорганизмы, меньшие по размеру, не могут быть самодостаточными, поэтому они вынуждены паразитировать. Можно сказать, что эти организмы избавились от основной части собственной системы метаболизма как от ненужного багажа. Они не могут расти и размножаться ни в какой искусственной среде, какое бы обилие питательных веществ она ни содержала. Поэтому их нельзя выращивать, как бактерий, в пробирке или чашке Петри. Единственное место, где они могут расти, — это живая клетка, которая предоставит им весь набор отсутствующих у них ферментов, необходимых для роста. Такие организмы-паразиты растут и множатся за счет клетки-хозяина.

Первые микроорганизмы, по размеру меньшие, чем бактерии, обнаружил американский патолог Говард Тейлор Риккетс. В 1909 году он исследовал причины развития болезни, пятнистой лихорадки Скалистых гор, распространяемой кровососущими членистоногими клещами. В клетках инфицированных клещей он обнаружил так называемые тельца — включения, оказавшиеся микроорганизмами, которые в честь их первооткрывателя получили название *риккетсии*. Риккетс и другие исследователи вскоре установили, что тиф также относится к *риккетсиозам*, то есть к заболеваниям, вызываемым этими микроорганизмами. Исследуя причины возникновения тифа, в 1910 году Риккетс сам заразился этой страшной болезнью и умер в молодом возрасте, ему было всего 39 лет.

Но риккетсии еще не самые мелкие микроорганизмы, они достаточно большие, чтобы подвергнуться действию антибиотиков, таких, как хлорамфеникол или тетрациклины. Их диаметр составляет от 0,10 до 0,27 микрона. Они, по всей видимости, обладают достаточно развитой собственной метаболической системой, отличающейся от метаболической системы человеческих клеток по чувствительности к антибиотикам.

Наконец мы добрались до вирусов, которые являются самыми мелкими микроорганизмами. По размерам они частично перекрываются с риккетсиями; в действительности четкую границу между риккетсиями и вирусами провести довольно сложно. Но самые мелкие вирусы и на самом деле очень малы (вирус желтой лихорадки имеет всего 0,02 микрона в диаметре). Они настолько малы, что обнаружить их в клетке невозможно, и никакой оптический



Относительные размеры бактерий, вирусов и молекул простых веществ и белков (размеры микроорганизмов на рисунке в 375 000 раз превышают их реальные размеры)

микроскоп исследователю в этом случае не может помочь. Средний вирус в тысячу раз меньше средней бактерии.

Как я уже говорил, вирус практически лишен собственной системы метаболизма и почти полностью зависит от набора ферментов клетки-хозяина. Некоторые из наиболее крупных вирусов еще чувствительны к антибиотикам, но против обычных представителей этой группы микроорганизмов антибактериальные средства бессильны.

О существовании вирусов ученые догадывались еще за несколько десятилетий до того, как они были открыты. Пастер, исследуя причины возникновения бешенства, не смог найти в телах скончавшихся от этой болезни каких-либо организмов, которые могли бы вызывать ее. Не отказавшись от своей теории, согласно которой причиной заболевания были микроорганизмы, Пастер предположил, что в данном случае эти микроорганизмы слишком малы, чтобы их можно было увидеть. Он оказался прав.

В 1892 году русский микробиолог Дмитрий Иосифович Ивановский изучал *табачную мозаику* — болезнь растения табака, при которой его листья становятся пятнистыми. Ивановский обнаружил, что сок, полученный из пораженных листьев, при нанесении его на здоровые растения способен передавать им болезнь. Желая выделить микроорганизмы, вызывающие табачную мозаи-

ку, Ивановский решил пропустить сок из больных листьев через фарфоровые фильтры, поры которых столь малы, что через них не могут пройти даже самые мелкие бактерии. Профильтрованный сок по-прежнему инфицировал здоровые растения, и Ивановский решил, что его фильтры имеют дефекты и поэтому пропускают сквозь себя бактерии, вызывающие табачную мозаику.

Нидерландский микробиолог Мартинус Виллем Бейеринк в 1897 году, повторив эксперимент Ивановского, пришел к выводу, что агент, вызывающий болезнь табака, слишком мал, чтобы поры фарфорового фильтра смогли его задержать. Бейеринк перепробовал все доступные в то время микроскопы, но так и не смог обнаружить хоть что-либо, что можно было принять за возбудителя этого заболевания. Поскольку попытки вырастить культуру этого болезнетворного агента также оказались неудачными, ученый решил, что инфицирующим агентом является некое вещество, молекула которого примерно такого же размера, как и молекула сахара. Бейеринк назвал этот инфицирующий агент *фильтрующимся вирусом* (слово «вирус» латинское, оно переводится как «отрава», «яд»).

В том же году немецкий микробиолог Фридрих Август Иоганнес Лефлер обнаружил, что агент, вызывающий ящур, болезнь, которой страдает крупный рогатый скот, также проходит сквозь поры фарфорового фильтра. Четыре года спустя уже известный вам Уолтер Рид в поисках возбудителя желтой лихорадки выявил, что инфицирующий агент является фильтрующимся вирусом. В 1914 году немецкий микробиолог Вальтер Крузе показал, что обычную простуду вызывают также вирусы.

К 1931 году было установлено, что вирусы являются виновниками примерно 40 болезней, среди которых оказались корь, свинка, ветрянка, грипп, оспа, полиомиелит и бешенство, но природа вирусов все еще оставалась загадкой. Она была полностью покрыта завесой тайны до тех пор, пока английский микробиолог Уильям Джозеф Элфорд не стал использовать фильтры из коллодия, — уменьшая размеры пор, он мог осаждать на этих фильтрах все более мелкие частицы. Наконец ему удалось осадить на фильтрах некие материальные частицы, которые и являлись инфицирующими агентами, — жидкости после пропускания их через фильтр становились незаразными. Зная размеры пор используемых мембран, он мог судить о размерах вирусов, вызывавших конкретное заболевание. Оказалось, что Бейеринк был не прав, даже самый маленький вирус был крупнее большинства молекул. Самые большие вирусы по размерам приближались к риккетсиям.

В течение нескольких лет после открытия Элфорда ученые спорили, являются ли вирусы живой материей или нет. То, что они были способны размножаться и передавать болезнь, безусловно свидетельствовало в пользу принадлежности их к живой мате-

рии. Но в 1935 году американский биолог У.М. Стэнли получил данные, свидетельствующие о том, что вирусы с большой степенью вероятности являются представителями неживой материи. Он размял как следует листья табака, пораженные вирусом табачной мозаики, и попробовал из полученного сока выделить вирус в чистом и концентрированном виде, пользуясь методами выделения белков. Результат превзошел все ожидания исследователя: он получил вирус в кристаллическом виде! Полученный им препарат вирусов был в виде таких же кристаллов, как и молекулы белка, при этом вирус был интактным, при его растворении в жидкости он так же вызывал развитие болезни, как и прежде.

За получение вирусов в кристаллическом виде Стэнли в 1946 году был удостоен звания лауреата Нобелевской премии по химии (вместе с ним премию получили Самнер и Нортроп, которым удалось кристаллизовать ферменты, см. главу 11).

Еще 20 лет после успешных экспериментов Стэнли все вирусы, которые ученым удавалось кристаллизовать, принадлежали к группе достаточно простых *растительных вирусов* (тех, которые могли поражать только растения). Первый *животный вирус* был получен в кристаллическом виде только в 1955 году, это был вирус полиомиелита, а кристаллизовали его Карлтон Э. Швердт и Фредерик Л. Шаффер.

Тот факт, что вирусы могут существовать в виде кристаллов, казался многим, в том числе и Стэнли, доказательством того, что это обыкновенные белки, представители неживой материи. Ведь ничто живое не может быть кристаллизовано; жизнь и способность к кристаллизации казались понятиями взаимоисключающими. Жизнь — это нечто подвижное, изменчивое, динамичное, а структура кристалла — жесткая, неизменная, строго организованная.

Только один факт не укладывался в гипотезу о неживой природе вирусов — они могли расти и размножаться даже после того, как побывали в кристаллическом состоянии. А способность к росту и размножению всегда считалась непременной характеристикой живого.

Ситуация начала проясняться после того, как два британских биохимика Фридерик Чарльз Боуден и Норман У. Пайри обнаружили, что вирус табачной мозаики содержит рибонуклеиновую кислоту. Немного, разумеется, но содержит. Согласно проведенному ими анализу, исследуемый вирус на 94 процента состоял из белка и на 6 процентов из РНК. Это определенно был нуклеопротеид! Более того, все остальные известные вирусы также оказались нуклеопротеидами, содержащими РНК, или ДНК, или и ту и другую нуклеиновые кислоты.

Различие между существованием нуклеопротеида и существованием просто белка практически и есть различие между живой и неживой материей. Оказывается, вирусы состояли из того же

материала, что и гены. А гены — это истинная сущность жизни. Крупные вирусы были очень похожи на расплетенные хромосомы. Некоторые вирусы содержали 75 генов, каждый из которых контролировал определенную деталь структуры вируса: в каком месте он был вытянутым, в каком образовывал складку. Вызывая мутации в нуклеиновой кислоте, можно было получать поврежденные гены и таким образом выяснять, какова функция конкретного гена и какова его локализация. Подобным способом можно было произвести полную расшифровку генов вируса, провести их структурный и функциональный анализ, и, безусловно, это был всего лишь первый небольшой шаг к расшифровке куда более сложного генного аппарата клеточных организмов.

Вирусы в клетке можно представить себе как десантников, высадившихся в нее, заблокировавших гены, контролирующие жизнедеятельность клетки, и заставивших химические процессы в клетке протекать в нужном им направлении. Такое грубое вмешательство часто приводит к гибели клетки или гибели всего организма-хозяина. Иногда вирусы в клетке могут даже заменять ген или группу генов на свои собственные, придавая клетке новые свойства, которые она впоследствии будет передавать дочерним клеткам. Этот феномен получил название *трансдукция*.

Если наличие генов — это признак живого организма, то вирусы — живая материя. Конечно, многое зависит от того, как мы будем определять понятие «жизнь». Я, например, склонен считать живым любой нуклеопротеид, способный размножаться. Если рассматривать вирусы с такой точки зрения, то они такие же живые существа, как, например, слоны или люди.

Однако все факты существования вирусов были косвенными, а ни один косвенный факт не может сравниться с прямым доказательством. Вирусами занимались много, но никто их не видел. Наверное, первым, кому удалось разглядеть вирусы, был шотландский врач Джон Броун Бист. В 1887 году при исследовании под микроскопом содержимого оспенного волдыря он разглядел какие-то крохотные точки. По всей вероятности, это были вирусы коревой оспы, самые крупные из известных вирусов.

Для того чтобы можно было хорошо разглядеть типичный вирус или хотя бы как-то его разглядеть, нужно приспособление несколько лучшее, чем обычный микроскоп. Таким приспособлением оказался электронный микроскоп, изобретенный в конце 30-х годов XX века. Электронный микроскоп обладал способностью увеличивать предметы в 100 000 раз, с его помощью можно было разглядеть объекты, имеющие 0,001 микрона в диаметре.

Однако электронный микроскоп имел свои недостатки. Объекты при рассмотрении должны были находиться в вакууме, что приводило к неизбежной их дегидратации и, следовательно, изменению формы. Срезы таких объектов, как клетки, должны

были быть максимально тонкими. Изображение получалось только двумерным; электроны имели склонность проходить через весь биологический материал, поэтому его изображение сливалось с фоном.

В 1944 году американские ученые, астроном и физик Робли Кук Уильямс и электронный микроскопист Ральф Уолтер Грейстоун Викофф, совместно нашли остроумное решение этой проблемы. Первому идея пришла в голову Уильямсу, то есть он был астрономом и знал, что кратеры и вулканы на Луне обретают контрастное изображение только тогда, когда солнечные лучи падают на них под углом благодаря теням; следовательно, и трехмерное изображение вирусов можно получить, если удастся зафиксировать тени от них. Ученые решили обработать вирусные частицы парами металла, направленными под углом к предметному столику микроскопа. Поток частиц металла оставлял за каждой вирусной частицей чистую поверхность — «тень» вируса. Длина этой тени была пропорциональна высоте вирусной частицы, а благодаря тонкой пленке металла, покрывавшей вирус, вирусные частицы четко отличались от фона. По форме тени можно было судить о форме самого вируса.

Вирус коровьей оспы по форме оказался похожим на бочонок, его диаметр, как установили ученые, составил 0,25 микрометра, что приблизительно соответствовало размеру самой маленькой риккетсии. Вирус табачной мозаики, оказалось, походил на палочку 0,28 микрометра длиной и 0,015 микрометра в диаметре. Мелкие вирусы, такие, как вирусы полиомиелита, желтой лихорадки и ящура, представляли собой крошечные шарики, диаметр которых варьировался от 0,020 до 0,025 микрометра. То есть их размер был значительно меньше размера одного человеческого гена. Вес такой вирусной частицы превышал вес белковой молекулы среднего размера всего лишь в 100 раз. Масса вируса костёрной мозаики (костёр — однолетние травы рода злаков. — *Примеч. пер.*), наименьшего из тех, которые удалось охарактеризовать, составляет всего 4 500 000. Этот вирус в 10 раз меньше вируса табачной мозаики, что позволяет ему претендовать на звание самого маленького живого существа.

В 1959 году финский цитолог (цитология — наука о клетке. — *Примеч. пер.*) Алвар П. Вилска разработал новую конструкцию электронного микроскопа, изображения в котором получались при использовании электронов относительно низких скоростей. Электроны, движущиеся с низкими скоростями, обладают менее выраженной проникающей способностью по сравнению с высокоскоростными частицами, что позволило рассмотреть некоторые детали внутреннего строения вирусов. В 1960 году французский цитолог Гастон Дю По придумал способ, как получить электронно-микроскопическое изображение бактерий: он поместил их в капсулы, наполненные воздухом, что позволило рас-

смотреть под электронным микроскопом живые клетки. Правда, без напыления металла многие детали их строения оказались неразличимыми.

Затем исследователи, занимавшиеся вирусами, начали разбирать их на части, после чего собирать в единую структуру заново. Например, американский биохимик из Калифорнийского университета, немец по происхождению, Хайнц Людвиг Френкель-Конрат, работавший вместе с Робли Уильямсом, обнаружил, что после небольшой химической обработки белок вируса табачной мозаики распадается на 2200 фрагментов, представляющих собой пептидные цепи, каждая из которых состояла из 158 аминокислот и имела молекулярную массу 18 000. В 1960 году был установлен аминокислотный состав пептидных фрагментов вирусного белка. При помещении этих фрагментов в раствор они имели тенденцию к соединению в единую длинную цепь, в виде которой они существовали в исходном вирусе. Фрагменты соединялись благодаря ионам кальция и магния.

Фрагменты вирусного белка при воссоединении образуют пространственную геометрическую систему. Так, например, фрагменты белка вируса табачной мозаики, о котором мы только что говорили, образуют сегменты спирали. Шестьдесят фрагментов белка вируса полиомиелита при соединении образуют 12 пятиугольников. Двадцать субъединиц белка вируса радужной долгоножки собираются в правильную жесткую двадцатигранную структуру.

Структура, в которую собираются фрагменты белка вируса, полая внутри. Спираль белка, например, вируса табачной мозаики состоит из 130 оборотов пептидной цепи, образующей внутри длинную прямую полость. Внутри полости, образованной белковым компонентом вируса, находится его нуклеиновая часть — нуклеиновая кислота, ДНК или РНК. Независимо от того, какой нуклеиновой кислотой представлен нуклеиновый компонент вируса, он всегда состоит из 600 нуклеотидов (правда, Сол Шпигельман обнаружил способную к репликации вирусную РНК, состоящую из 480 нуклеотидов).

Френкель-Конрат разделил белковый и нуклеиновый компоненты вируса табачной мозаики и попытался определить, способен ли какой-либо из этих компонентов в отдельности инфицировать клетку. Проведенные эксперименты показали, что ни белковый, ни нуклеиновый компоненты вируса, взятые в отдельности, не обладают инфицирующим действием. Но после их смешивания инфицирующая активность вируса восстанавливалась на 50 процентов, то есть составляла половину от активности исходного вируса!

Как это объяснить? Каждая из двух составных частей вируса, белковая и нуклеиновая, во всех отношениях не являются жи-

вой материей, а при простом смешении их в пробирке по крайней мере часть материала становится живой. Пресса заговорила о Френкеле-Конрате как о создателе живых организмов из неживой материи.

По всей видимости, при смешивании белкового и нуклеинового компонентов происходила их частичная рекомбинация, восстановление структуры части вирусов. Каждый из компонентов играл свою роль при инфицировании. Но каковы роли белка и нуклеиновой кислоты при заражении клетки вирусом, какой компонент важнее?

Для того чтобы ответить на эти вопросы, Френкель-Конрат провел весьма изящный эксперимент. Он смешал белковую часть одного штамма вирусов с нуклеиновой частью другого штамма. Обе части соединились, образовав активный вирус со свойствами, характерными для обоих штаммов! По вирулентности (то есть по инфицирующей активности) новые вирусы были похожи на тот штамм, от которого был взят белковый компонент, а по признакам проявления болезни (то есть по природе мозаичной структуры на листьях табака) они были идентичны вирусам, из которых был получен нуклеиновый компонент.

Это открытие подтвердило уже существовавшие догадки вирусологов относительно функций белка и нуклеиновой кислоты вируса. Все походило на то, что при атаке клетки вирусом, его белковая оболочка необходима для прикрепления вирусной частицы к поверхности клетки и для нарушения целостности клеточной мембраны, благодаря чему нуклеиновая кислота вируса попадает в клетку и провоцирует образование в ней новых вирусных частиц.

После инфицирования листьев табака гибридным вирусом Френкеля-Конрата началось его размножение в клетках листьев, но новое поколение вирусов не обладало свойствами своего родителя — гибридного вируса, а было полным повторением того штамма, от которого в гибрид была взята нуклеиновая кислота. Это касалось и признаков проявления болезни, и инфицирующей активности. Другими словами, нуклеиновая кислота определяет тип белковой оболочки вируса: в данном случае белковая оболочка вирусов была такой же самой, как и у донора нуклеиновой кислоты, и новос поколение не содержало гибридных вирусных частиц.

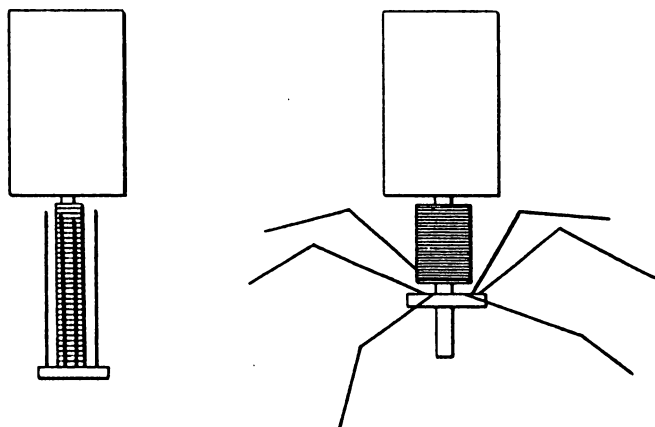
Это был еще один факт в пользу того, что именно нуклеиновая кислота является «живой» частью вируса, или, в более широком смысле, любого нуклеопротеида. В действительности Френкель-Конрат в последующих экспериментах обнаружил, что нуклеиновая кислота вируса, взятая без белка, способна инфицировать листья табака, но ее инфицирующая способность была незначительной — всего 0,1 процента от вирулентности интактного вируса. Вероятно, иногда нуклеиновая кислота каким-то образом сама проделывает себе вход в клеточной мембране.

Таким образом, соединение вирусных нуклеиновой кислоты и белка, ведущее к образованию живого вируса, вовсе не есть создание живого из неживой материи; жизнь уже была в исходных компонентах, и существовала она в образе нуклеиновой кислоты. Белок служит большей частью для того, чтобы предохранять нуклеиновую кислоту от действия разрушающих ее ферментов (*нуклеаз*), а также для того, чтобы помочь вирусу проводить инфицирование и репродукцию более эффективно. Для упрощения можно сравнить нуклеиновый компонент вируса с человеком, а белковый компонент — с автомобилем. Наличие автомобиля значительно упрощает и ускоряет передвижение человека из одного места в другое, хотя сам автомобиль, без человека, передвигаться не может. Человек может путешествовать пешком (что иногда и делает), но на автомобиле двигаться быстрее и удобнее.

Наиболее четкое и подробное представление о механизме инфицирования клетки вирусными частицами дало изучение группы вирусов, так называемых *бактериофагов*, которых открыли независимо друг от друга английский и канадский микробиологи Фредерик Уильям Туорт и Феликс Губерт Д'Эрелль, соответственно в 1915-м и в 1917 годах. Как ни странно, эти вирусы являются микроорганизмами, которые охотятся за другими микроорганизмами, а именно бактериями. Д'Эрелль назвал их бактериофагами, что в переводе с греческого означает «пожиратели бактерий».

Бактериофаги являются прекрасным объектом для изучения, поскольку их можно культивировать в пробирке вместе с их хозяевами-бактериями. Процесс инфицирования бактериофагами бактериальных клеток и размножения в них протекает следующим образом.

Типичный бактериофаг (ученые, работающие с ними, называют их просто фагами) по форме напоминает головастика с цилиндрической головкой и хвостом. Под электронным микроскопом исследователям удалось рассмотреть, что вначале фаг ухватывается за поверхность бактериальной клетки своим хвостом. Вероятнее всего, это происходит благодаря электрическому заряду, имеющемуся на конце хвоста (заряд обуславливается аминокислотами), который соответствует противоположному заряду на каком-то участке поверхности бактерии. Взаимное расположение противоположных и поэтому притягивающихся зарядов настолько соответствует друг другу, что фаг и участок поверхности бактериальной клетки прочно сцепляются, подобно зубьям в шестереночном механизме. Присоединившись к бактерии кончиком хвоста, вирус вырезает тонкое отверстие в клеточной стенке своей жертвы; вероятно, делает он это при помощи фермента, который разрушает связи между молекулами в месте прикрепления. Если судить только по данным электронной микроскопии, то внешне ничего больше не происходит. Бактериофаг или, по крайней мере, его оболочка так и остается прикрепленной к бак-



Модель бактериофага Т-2. Этот вирус, похожий на головастика, способен поражать бактерии. Слева представлена модель вируса в спокойном состоянии, справа — в состоянии «боевой готовности»

терии снаружи. Что происходит внутри бактериальной клетки — не видно, только через полчаса клетка буквально разрывается и из нее наружу вываливаются сотни зрелых вирусов.

Значит, на поверхности бактерии оставалась только белковая оболочка бактериофага, а нуклеиновая кислота, которая находилась под ней, должна была проникнуть через отверстие, проделанное в стенке бактериальной клетки белком фага. То, что в инфицируемую клетку проникает только нуклеиновый компонент вируса, не содержащий белка, убедительно показал американский генетик и вирусолог Алфред Дей Херши с помощью радиоактивных меток. Он поместил бактериофагов радиоактивными атомами фосфора и серы, выращивая вирусы в бактериях, поглощавших эти изотопы из питательной среды. Фосфор включался как в нуклеиновые кислоты, так и в белки, тогда как сера — исключительно в белки, так как нуклеиновые кислоты не содержат серы. Если при поражении бактериальной клетки фагом, помеченным обеими метками, потомство вируса будет содержать меченый фосфор, но не будет содержать радиоактивной серы, это будет означать, что в клетку проникает только нуклеиновая кислота, а весь белок остается снаружи. Отсутствие меченой серы у потомства позволит предположить, что весь материал для белка поставляется клеткой-хозяином. Результат эксперимента доказал правоту этого предположения: новые вирусы содержали радиоактивный фосфор (предоставленный им фагом-родителем), но не содержали меченой серы.

Таким образом, еще раз была продемонстрирована доминирующая роль нуклеиновых кислот в жизненных процессах. В бактерии попадает всего лишь нуклеиновая кислота бактериофагов,

и внутри бактериальной клетки она начинает управлять созданием новых вирусов и их нуклеинового, и их белкового компонентов, используя при этом материал клетки-хозяина. Возможно, что некоторые необычно маленькие вирусы, например вирус веретенообразных клубней картофеля, не содержат белковой оболочки вообще и состоят только из нуклеиновой кислоты.

С другой стороны, не исключено, что для инфицирования клетки нуклеиновая кислота не всегда необходима. В 1967 году было обнаружено, что почесуха, заболевание овец, вызывается некими частицами, значительно меньшими всех известных вирусов, масса этих частиц составляет всего лишь 700 000, но что более важно — они не содержат нуклеиновой кислоты. Подобные частицы могут выступать в качестве чужеродных «репрессоров», которые изменяют работу гена в клетке таким образом, что он начинает воспроизводить эти частицы. То есть в данном случае паразит даже не использует для своих целей ферменты и субстраты, принадлежащие клетке-хозяину, а пользуется его генами. Существует предположение, что и рассеянный склероз, которым страдают люди, по своему генезу сходен с почесухой овец.

Иммунитет

Вирусы — наиболее грозные враги человека в живой природе (исключая, конечно, самого человека). Внедрившись в клетки организма человека, они становятся неуязвимыми для действия лекарств или какого-либо другого искусственного оружия. Но, несмотря ни на что, человек способен противостоять им. Человеческий организм наделен удивительной природной защитой от болезней.

Возьмем «черную смерть» — самую большую эпидемию чумы, поразившую Европу в XIV веке. В то время люди жили в ужасающе антисанитарных условиях, не имея представления о чистоте и гигиене, без водопровода, без хоть сколь-нибудь разумной медицинской помощи. Правда, они могли бежать из пораженных чумой деревень, но зараженные чумой беглецы только способствовали более широкому и быстрому распространению эпидемии. Однако, несмотря на все это, три четверти популяции устояли против этой страшной болезни. Если учесть существовавшие в то время условия жизни, то удивительным становится не то, что чума унесла каждого четвертого европейца, а то, что каждые три человека из четырех все-таки выжили.

Наблюдения свидетельствуют, что к каждой болезни существует некая природная устойчивость. Если какое-то число людей подверглись серьезному заразному заболеванию, то одни из них переболеют относительно легко, у других болезнь будет протекать сложно, некоторые умрут от нее. Существует также полная невос-

приимчивость к болезни, иногда она бывает врожденной, иногда — приобретенной. Стоит человеку единожды переболеть, например, корью, свинкой или ветрянкой, и он станет невосприимчивым к этим заболеваниям на всю оставшуюся жизнь — у него развивается иммунитет против этих болезней.

Все три приведенных в качестве примера заболевания вызываются вирусами. Кроме того, это относительно неопасные инфекционные болезни, которые редко имеют смертельный исход. Свинка обычно вызывает маловыраженные симптомы, по крайней мере у детей. Как организм справляется с этими вирусами, причем не только справляется, но и укрепляется настолько, что в будущем эти возбудители болезней уже не могут причинить ему вреда? Ответом на эти вопросы может стать волнующий эпизод, связанный с современной медицинской наукой, однако, прежде чем начать рассказ, давайте вернемся к тому времени, когда человек победил оспу.

В конце XVIII века оспа была особенно страшным заболеванием. Люди боялись оспы не только потому, что эта болезнь часто заканчивалась смертью больного, но и потому, что те, кому посчастливилось выздороветь, на всю жизнь были обречены на уродство: в легких случаях оспа оставляла рябины на лице, в тяжелых — болезнь уничтожала не только все следы красоты человека, но и внешние признаки принадлежности к роду человеческому. Значительная часть населения носила на своих лицах следы оспы, а те, кто еще не болел ею, жили в постоянном страхе заболеть этой болезнью.

В XVII веке турки начали умышленно заражать себя легкой формой оспы в надежде избежать более серьезного проявления болезни. Они царапали себе кожу и наносили на царапины жидкость из оспенных пузырьков больных легкой формой заболевания. Иногда такая процедура действительно вызывала легкую форму болезни, но иногда дело заканчивалось полным обезображиванием человека или даже смертью, то есть тем, чего люди хотели избежать. Это было рискованное мероприятие, но ужас перед оспой толкал людей на риск, и они были готовы сделать все, чтобы болезнь прошла стороной.

В 1718 году знаменитая красавица того времени леди Мэри Уортли Монтейдж, будучи в Турции со своим мужем, посланным туда ненадолго в качестве британского дипломата, узнала об этом способе профилактики оспы и сделала прививку своему ребенку. Все прошло удачно. Однако идея прививок не прижилась в Англии частично, вероятно, из-за того, что леди Монтейдж пользовалась славой эксцентричной женщины. Аналогичное событие произошло и за океаном. Американский врач Забдайл Бойлстон во время эпидемии оспы в Бостоне сделал прививку 241 человеку. Шесть из них умерли, что послужило причиной ожесточенной критики в адрес врача и самого способа профилактики оспы.

Обитатели одной из ферм в графстве Глостершир имели свое мнение на то, как уберечься от оспы. Они были уверены в том, что если человек переболел коровьей оспой, заболеванием, поражающим не только коров, но иногда и людей, то это делает его невосприимчивым не только к коровьей, но и к обычной оспе. Глостерширский доктор Эдуард Дженнер решил, что в этом деревенском «предрассудке» может крыться и частица истины. Если это наблюдение было верным, то все складывалось прекрасно, ведь коровья оспа вызывает появление едва заметных пузырьков и оставляет после себя также едва различимые отметины. Доктор обратил внимание на то, что молочницы, у которых риск подхватить коровью оспу был наибольшим, не имели на теле оспин. (Вероятно, характерная для XVIII века склонность к романтизации молочниц основывалась на том, что их чистые здоровые лица выглядели особенно красивыми в мире людей, покрытых оспинами.)

Может быть, коровья и обычная человеческая оспы так схожи между собой, что выработавшаяся в организме защита к коровьей оспе предохраняет человека и от человеческой оспы? Доктор Дженнер с большой осторожностью начал проверять правильность своего предположения (первыми испытуемыми, скорее всего, стали члены его семьи). В 1796 году он решил рискнуть и проделать завершающую проверку. Вначале он сделал прививку коровьей оспы восьмилетнему мальчику Джеймсу Филлипсу, взяв в качестве прививочного материала жидкость из пузырьков коровьей оспы, которые были на руках молочницы. Два месяца спустя он перешел ко второй, решающей стадии эксперимента, граничащей, право, с безрассудством. Он умышленно привил маленькому Джеймсу человеческую оспу.

Мальчик не заболел. Он стал невосприимчив к оспе.

Дженнер назвал процедуру прививки *вакцинацией* (от слова «вакцина», что в переводе с латыни означает «коровья оспа»). Наконец-то найденный способ предупреждения оспы — вакцинация — распространился по Европе со сверхъестественной быстротой. Вакцинация против оспы — это один из редких случаев революции в медицине, почти сразу же воспринятой с энтузиазмом, — истинная мера того смертельного страха, который навела на людей оспа, и их стремления любым способом избежать этого грозного заболевания. Даже медицинская общественность в целом не оказала большого сопротивления вакцинации, хотя ее официальные лидеры и ставили препоны новшеству как могли. Когда кандидатуру Дженнера предложили для вступления его в Королевскую коллегию врачей, это предложение было отклонено на основании того, что он не возвысился до уровня Гиппократа или Галена.

Сегодня в цивилизованных странах оспа практически не встречается, хотя страх этой болезни несколько не уменьшился. Дос-

таточно появиться в средствах массовой информации только одному сообщению о случае заболевания оспой, как все население большого города устремляется к врачам, чтобы те сделали повторную вакцинацию.

Победа над оспой послужила стимулом для поисков средств против других серьезных инфекционных болезней. Однако все усилия микробиологов и врачей, предпринятые в этом направлении на протяжении более полутора веков, были безуспешными. Следующий важный шаг вперед сделал Пастер. В известной степени случайно он обнаружил, что тяжелое инфекционное заболевание можно перевести в гораздо более слабую форму введением человеку ослабленных микробов, вызывающих эту болезнь.

Пастер работал с бактериями, вызывающими куриную холеру. Он концентрировал бактериальные препараты настолько, что введение их под кожу даже в ничтожных количествах вызывало гибель кур в течение суток. Однажды, проводя свои эксперименты, он случайно использовал культуру бактерий недельной давности. На этот раз болезнь у кур протекала в легкой форме, и все они вскоре выздоровели. Пастер решил, что его культура бактерий испортилась и приготовил новую, более вирулентную. Но и введение новой культуры не привело к гибели птиц, которые выздоровели после введения им «испорченных» бактерий. Было ясно, что инфицирование кур ослабленными бактериями вызвало появление у них защитной реакции, способной предотвратить развитие болезни при попадании в организм высоковирулентных микроорганизмов.

Если вернуться к открытию Дженнера, то можно сказать, что Пастер привил «коровью оспу» для того, чтобы предотвратить заболевание обычной «оспой». Отдавая долг первооткрывателю, Пастер также назвал открытый им способ предупреждения инфекционной болезни вакцинацией, хотя конечно же никакого отношения к коровьей оспе его ослабленные бактерии не имели. С того времени термин *вакцинация* стал использоваться для обозначения любой прививки против какого-либо заболевания, а препарат, используемый для этой процедуры, стали называть вакциной.

Пастер разработал и другие методы ослабления агентов, вызывающих болезнь. Например, он обнаружил, что выращивание бактерий возбудителей сибирской язвы при высокой температуре приводит к ослаблению штамма настолько, что его можно использовать для вакцинации животных против этого заболевания. До этого времени заболевание скота сибирской язвой не давало никаких надежд на его выздоровление, болезнь была настолько заразной, что при заболевании только одного животного приходилось забивать все стадо и затем сжигать его.

Однако самым выдающимся достижением Пастера стала победа над вирусным заболеванием, называемым *водобоязнью*, или *бешенством* (эта болезнь поражает нервную систему и характеризуется симптомами, сходными с симптомами сумасшествия). У человека, укушенного бешеной собакой, после инкубационного периода, длящегося от месяца до двух, развиваются симптомы острого психоза, заболевание это неизменно заканчивается агонией и смертью.

Пастеру не удалось выделить возбудителей этой болезни (конечно же тогда ничего не было известно о вирусах), поэтому для их выращивания он должен был использовать живых животных. Он вводил инфицирующую жидкость кролику в головной мозг, через несколько дней забивал животное, извлекал из него спинной мозг, размельчал его до состояния кашицы и вводил экстракт в головной мозг другому кролику и т. д. Пастер ослаблял экстракты «старением» — он просто выдерживал их какое-то время, постоянно проверяя их активность на кроликах, до той поры, пока экстракт переставал вызывать у животного заболевание. Пастер ввел полученный препарат собаке, и она выжила, после чего ученый ввел этой собаке неослабленный экстракт и обнаружил, что у собаки развилась невосприимчивость к бешенству.

В 1885 году Пастер попробовал с помощью своего экстракта вылечить человека. Однажды ему принесли девятилетнего мальчика, Джозефа Мейстера, которого сильно укусила бешеная собака. С большими сомнениями и нерешительностью он начал прививать свою вакцину, вводя каждый раз все менее и менее ослабленный экстракт, в надежде на то, что еще до окончания инкубационного периода у ребенка выработается устойчивость к заболеванию. Попытка вылечить мальчика закончилась успехом. По крайней мере, ребенок выжил. (Впоследствии Мейстер стал привратником в Институте Пастера; в 1940 году, когда пришедшие в Париж нацисты приказали ему вскрыть склеп, где похоронился великий ученый, он покончил жизнь самоубийством.)

В 1890 году немецкий военный врач Эмиль Адольф фон Беринг, работавший в лаборатории Коха, попробовал реализовать на практике идею другого способа создания невосприимчивости к инфекционному заболеванию. Фон Беринг предположил, что возбудители заболеваний вызывают образование в организме неких специальных защитных веществ, которые в дальнейшем и обуславливают невосприимчивость к этому заболеванию. Зачем рисковать, вводя человеку самих микробов, пусть даже ослабленных? Не лучше ли инфицировать микробами животных, выделить из них те защитные вещества, которые образуются в ответ на попадание в организм инфекции, и вводить эти вещества человеку?

Проведя необходимые эксперименты, фон Беринг убедился в том, что его идея правильная. Защитные вещества, которые он искал, находились в сыворотке крови. Фон Беринг назвал их ан-

титоксинами. Заражая животных столбняком и дифтерией, он получил антитоксины против этих заболеваний. Его первый опыт введения дифтерийного антитоксина больному ребенку имел такой потрясающий успех, что новый способ лечения этого тяжелого заболевания был тут же признан, что значительно сократило смертность от дифтерии.

Вместе с фон Берингом работал Пауль Эрлих (который позднее изобрел «волшебную пулю» против сифилиса), в его задачу входило подобрать правильные дозы антитоксина при лечении дифтерии. Позднее он порвал с фон Берингом (Эрлих был чрезвычайно вспыльчивым, что часто становилось поводом для разрыва отношений с друзьями и коллегами) и уже в одиночку продолжал разрабатывать детали методики рационального лечения сывороткой. Фон Беринг в 1901 году был удостоен Нобелевской премии в области медицины и физиологии, это был первый год присуждения нобелевских премий. Эрлих получил эту премию в 1908 году, разделив ее с русским микробиологом Ильей Ильичом Мечниковым.

Невосприимчивость к болезни, обусловленная наличием в крови антитоксина, существует лишь то время, пока в крови находится антитоксин. Но французский микробиолог Гастон Рамо обнаружил, что обработка дифтерийного или столбнячного токсинов формальдегидом или нагреванием изменяет структуру токсинов таким образом, что получаемые в результате обработки новые вещества (так называемые *токсоиды*, или токсиноподобные вещества) можно, не опасаясь, вводить человеку. Антитоксин, который после этого образуется в организме человека, присутствует в крови гораздо дольше, чем введенный в кровь антитоксин животных. Более того, со временем в целях восстановления невосприимчивости к заболеванию токсоид можно вводить повторно. После начала широкого использования токсоидов в 1925 году страх дифтерии значительно уменьшился.

Сывороточные реакции использовали также для диагностики заболеваний. Наиболее известным примером является реакция Вассермана, которую в 1906 году для диагностики сифилиса ввел в практику немецкий микробиолог Август фон Вассерман. Реакция основана на методе, разработанном бельгийским микробиологом Жюлем Борде, который занимался с компонентами сыворотки крови, которые позднее получили название *комплемента*. За свою работу Жюль Борде в 1919 году был удостоен звания лауреата Нобелевской премии в области медицины и физиологии.

Продолжительная борьба Пастера с бешенством показала, сколь трудно исследователю иметь дело с вирусами. Бактерии можно выращивать на искусственной среде в пробирке, с ними легко манипулировать, например, их вирулентность можно ослабить. С вирусами так не получается, их можно выращивать только в живых тканях. В случае оспы для получения эксперимен-

гального материала хозяевами — носителями вирусов коровьей оспы — служили коровы или доярки. Для получения вакцины против бешенства Пастер использовал кроликов. Но животные — не самая удобная среда для выращивания микроорганизмов: такая процедура трудоемкая, она обходится дорого и занимает много времени.

В первой половине XX века французский биолог Алексис Каррель сделал чрезвычайно важное для медицины изобретение, благодаря чему его имя приобрело широкую известность, — он придумал способ сохранения кусочков живой ткани в пробирке. Карреля эта проблема интересовала как хирурга. Он разработал новые методы трансплантации кровеносных сосудов и органов у животных, за что в 1912 году получил Нобелевскую премию по медицине и физиологии. Естественно, прежде, чем пересадить взятый у одного животного орган другому, экспериментатору приходилось какое-то время сохранять материал живым. В целях питания тканей Каррель пропускал через орган кровь, добавляя в нее различные экстракты и ионы. Для этого он вместе с Шарлем Линдбергом сконструировал «механическое сердце» — специальный насос, который по кровеносным сосудам прокачивал жидкость через орган.

Приспособление Карреля позволяло поддерживать сердце куриного эмбриона в живом состоянии в течение 34 лет — время, куда более продолжительное, чем жизнь курицы. Каррель даже попробовал использовать свои культуры тканей для выращивания вирусов и достиг успеха на этом поприще. Только одно обстоятельство негативно сказывалось на культивировании вирусов — это бактерии, которые вместе с вирусами росли в тканях, и во избежание этого приходилось принимать такие меры предосторожности, создавая асептические условия, что для выращивания вирусов проще было использовать животных.

Однако идея использования куриных эмбрионов для выращивания вирусов не была оставлена и вскоре получила реальное воплощение. Ведь использовать целый эмбрион гораздо удобнее, чем только часть его. Куриный эмбрион — это автономный, снабженный всем необходимым организм, защищенный яичной скорлупой, от природы наделенный всеми необходимыми защитными средствами от бактерий. Они дешевы и доступны, и их можно получать в необходимых количествах. И в 1931 году патолог Эрнест Уильям Гудпастур со своими коллегами из Вандербилтского университета успешно ввели вирусы в куриный эмбрион, и с этого времени культивирование вирусов стало такой же легкой процедурой, как и выращивание бактерий.

В 1937 году выращивание вирусов в оплодотворенных куриных яйцах позволило практической медицине одержать крупную победу. Бактериологи Рокфеллеровского института постоянно вели поиски средств, способных оказать помощь в борьбе против ви-

руса желтой лихорадки. Ведь уничтожить комаров полностью было невозможно, помимо этого постоянными носителями инфекции в тропиках были обезьяны. Южноафриканский микробиолог Макс Тейлер, работавший в Рокфеллеровском институте, поставил перед собой цель получить ослабленную культуру вируса желтой лихорадки. Он пассировал вирус, перепрививая его от одного животного к другому, от одного эмбриона к другому, для чего использовал 200 мышей и 100 куриных эмбрионов, пока не получил мутант, который вызывал лишь легкие симптомы желтой лихорадки, но зато способствовал развитию полной невосприимчивости к этой болезни. За эту работу Тейлер в 1951 году был удостоен звания лауреата Нобелевской премии в области медицины и физиологии.

В конце 40-х годов XX столетия американские исследователи Джон Франклин Эндерс, Томас Хакл Уэллер и Фредерик Чапмен Роббинс, работавшие в Гарвардской медицинской школе, вернулись к экспериментам Карреля. (Тот умер в 1944 году и, к сожалению, не смог стать свидетелем успешного завершения дела, которое он когда-то начал.) В это время человечество уже обладало неизвестным ранее мощным оружием против бактерий — антибиотиками, что позволило ученым предотвратить размножение бактерий в культурах тканей. Добавляя пенициллин и стрептомицин в кровь, которую пропускали через ткани для поддержания их в жизнеспособном состоянии, они обнаружили, что бактерии больше не мешают выращиванию вирусов. Окрыленные успехом, исследователи попробовали культивировать вирус полиомиелита. К их восторгу, он прекрасно размножался в тканях. За это научное достижение, позволившее впоследствии победить полиомиелит, трое ученых в 1954 году получили Нобелевскую премию по медицине и физиологии.

Теперь вирус полиомиелита стало возможным выращивать в лабораторной пробирке, тогда как прежде для этого использовали обезьян, слишком дорогих и темпераментных лабораторных животных. Этот вирус стал доступен для исследований самого разного рода. Благодаря использованию тканевых культур Джонас Эдвард Салк из Питсбургского университета, исследуя действие химических реагентов на вирус полиомиелита, обнаружил, что формальдегид убивает эти вирусы, но убитые вирусы способны вызывать невосприимчивость организма к полиомиелиту. Так была создана знаменитая вакцина Салка.

Высокая смертность от полиомиелита, неизлечимый паралич, который он после себя оставляет, высокая заболеваемость среди детей, факты, что эта болезнь относительно новая (до 1840 года не было зарегистрировано случаев массового заболевания полиомиелитом), что в число ее жертв попала столь выдающаяся личность, как Франклин Рузвельт, — все это сделало победу над полиомиелитом одной из самых знаменательных побед человека

над болезнями за всю его историю. В 1955 году оценочная комиссия представила доклад о высокой эффективности вакцины Салка. Ни одно сообщение о достижениях медицинской науки не вызывало такой бурной реакции. Однако программа по вакцинации населения не была принята, так как попадались партии вакцины, которые вызывали заболевание полиомиелитом. Вскоре установили, что правильно приготовленная вакцина Салка эффективна и безопасна.

В 1957 году американский микробиолог, выходец из Польши, Алберт Брюс Сабин сделал следующий шаг на пути создания вакцины против полиомиелита. Он решил использовать не убитые вирусы (они представляли опасность в случае, если не были убиты до конца), а штаммы живых вирусов, которые не вызывали полиомиелит, но обладали способностью делать организм невосприимчивым к этому заболеванию. Вакцину Сабина не надо было вводить шприцом под кожу — ее в виде раствора можно было принимать через рот. Сначала новая вакцина приобрела популярность в Советском Союзе, затем — в странах Восточной Европы, в 1960 году ее стали использовать в Соединенных Штатах. Страх перед полиомиелитом отступил.

Но как работает вакцина? Какие изменения в организме происходят после ее введения? Какова химическая природа иммунитета?

Более полувека защитные средства организма против инфекции были известны биологам под названием *антитела*. (Конечно же ученые знали о существовании в крови белых кровяных клеток, так называемых *фагоцитов*, которые способны пожирать бактерии. Это открытие сделал еще в 1883 году русский биолог Илья Ильич Мечников, который впоследствии стал преемником Пастера, сменив его на посту директора Института Пастера в Париже, и который в 1908 году вместе с Эрлихом был удостоен звания лауреата Нобелевской премии в области медицины и физиологии. Но фагоциты бессильны против вирусов и, по всей видимости, не вовлекаются в процесс образования иммунитета в том аспекте, в котором рассматриваем его мы.) Вирус, как и почти любое чужеродное вещество, попадающее в организм, является *антигеном*. В ответ на попадание антигена организм в целях борьбы с инфекцией вырабатывает специфические антитела, которые нейтрализуют антиген, связываясь с ним.

Еще задолго до того, как ученые смогли выделить антигены, они были достаточно уверены в том, что по химической природе в большинстве своем антигены являются белками. Белковая структура наиболее подходящая для антитела — только белок способен «схватить» и обезвредить другой белок; только белок благодаря тонкости и разнообразию своей структуры способен распознать и соединиться с определенным антигеном.

Еще в начале 20-х годов XX века Карл Ландштайнер (тот, который установил наличие у человека четырех групп крови) провел серию экспериментов, убедительно доказавших, что антитела обладают высокой специфичностью. Вещества, которые он использовал для инициации образования антител, не являлись антигенами, это были гораздо более простые по строению химические соединения, структура которых была хорошо известна. Ландштайнер работал с соединениями мышьяка, так называемыми *арсанилиновыми кислотами*. Комплекс арсанилиновой кислоты с простым белком, таким, как, например, альбумин яичного белка, обладает свойствами антигена: при введении его животным в сыворотке их крови появляются антитела. Более того, эти антитела специфичны по отношению к арсанилиновой кислоте; сыворотка крови животных осаждала только комплексы яичного альбумина с арсанилиновой кислотой, но не осаждала чистый альбумин. Можно было получить антитела, которые взаимодействовали с арсанилиновой кислотой, не присоединенной к альбумину. Ландштайнер показал также, что небольшие изменения в структуре арсанилиновой кислоты отражаются в структуре антител. Антитела, образование которых вызвала одна модификация арсанилиновой кислоты, не взаимодействовали с другими ее разновидностями, какими бы малыми ни были различия между ними.

Для обозначения такого соединения, как арсанилиновая кислота, которое при соединении с белком обладает способностью вызывать образование антител, Ландштайнер ввел новый термин — *гаптен* (от греческого слова «связывать»). Можно предположить, что каждый природный антиген имеет на своей молекуле специфический участок, который и выступает в роли гаптена. Согласно такой теории, структура вирусных частиц, которые используют для вакцинации, вследствие искусственных модификаций (температурная или химическая обработка, выведение мутантных штаммов) претерпевает столь существенные изменения, что эти микроорганизмы становятся неспособными повреждать клетки, но гаптеносодержащие группы на их поверхности остаются неповрежденными, что сохраняет способность вирусов вызывать образование к ним антител.

Представляло большой интерес изучение химической природы естественных гаптеносодержащих веществ. Ведь если определить их химическую структуру, то можно было бы в качестве вакцины, вызывающей образование специфических антител к определенному антигену, использовать одни только гаптены (может быть, в соединении их с какими-нибудь безвредными белками). Это позволило бы отказаться от необходимости использовать токсины или ослабленные вирусы, что всегда влечет за собой хотя и небольшой, но все же риск.

Но каким же образом в организме образуются антитела в ответ на попадание в него антигенов? Эрлих считал, что в организме содержится набор небольших количеств антител, которые мо-

тут понадобится в жизни, и что антиген, попавший в организм, взаимодействует с соответствующим ему антителом, что является стимулом для продукции большего количества этих антител. Некоторые иммунологи все еще являются сторонниками этой теории или ее модификаций. Однако трудно себе представить, что организм предусмотрел возможность попадания в него всех возможных антигенов, включая и синтетические вещества, которых нет в природе, как, например, арсанилиновые кислоты.

Можно предположить альтернативный вариант. Допустим, в организме есть некая молекула белка, которая выполняет функцию общего антитела, то есть может изменять свою структуру так, что она будет соответствовать любому антигену. В этом случае антиген будет служить своеобразной матрицей, в соответствии с которой в ответ из заготовки сформируется специфическое антитело. Эту теорию иммунного ответа в 1940 году предложил Полинг. Он выдвинул предположение, что все специфические антитела — это по-разному сложенные разновидности одной и той же молекулы, различающиеся формой. Другими словами, антитело «приспосабливается» к антигену наподобие того, как перчатка принимает форму руки, на которую ее натягивают.

В 1969 году прогресс, достигнутый в области химии белков, позволил группе американских ученых, которую возглавлял биохимик Джеральд Морис Эдельман, установить первичную структуру (определить аминокислотную последовательность) одного из типичных антител, состоящего более чем из тысячи аминокислот. Несомненно, это открыло новые перспективы исследования тонких механизмов функционирования подобных молекул на более высоком уровне.

Очень высокая специфичность антител по отношению к антигенам создает некоторые неудобства в работе иммунной системы. Предположим, что некий вирус, против которого в организме были выработаны антитела, мутировал таким образом, что его белковая оболочка слегка изменила структуру. Очень часто старые антитела не могут распознать видоизмененные вирусы — их структура не соответствует структуре новой белковой оболочки. А это означает, что выработавшийся иммунитет против одного штамма вирусов оказывается бессильным против другого штамма, вызывающего ту же болезнь. Особенно склонны к незначительным мутациям вирусы, вызывающие грипп и острые респираторные заболевания. Это и является главной причиной того, почему мы так подвержены этим заболеваниям.

Особенно часто случайные мутации происходят с вирусом гриппа, что время от времени приводит к появлению особо высоковирулентных штаммов, которые могут застать врасплох беззащитный перед ними мир. Это произошло в 1918 году, то же произошло, правда с менее фатальным исходом, во время пандемии «азиатского гриппа» в 1957 году.

Еще более неудобным является слишком высокая активность организма в образовании антител: иногда происходит так, что антитела образуются даже к безвредным белкам, которые попадают в организм. Человек становится сенсibilизированным к этому белку, и его организм начинает бурно реагировать на попадание в него когда-то совершенно безвредного вещества. Реакция может проявиться в зуде, слезотечении, образовании большого количества слизи в носу и горле, развитии приступа бронхиальной астмы и т. д. Такие аллергические реакции провоцирует пыльца некоторых растений (вызывает сенную лихорадку), некоторые продукты питания, шерсть или частички эпидермиса животных. Иногда аллергические реакции носят острый характер, они получили название анафилактического шока. Анафилактический шок сопровождается очень серьезными нарушениями в функционировании организма, которые иногда заканчиваются даже его гибелью. Установление причин анафилактического шока позволило французскому физиологу Шарлю Роберту Рише в 1913 году быть удостоенным звания лауреата Нобелевской премии в области медицины и физиологии.

В строгом смысле у каждого человека есть аллергия по отношению к любому иному человеку. Трансплантат — орган или ткань, — пересаживаемый от одного индивидуума другому, не приживается и отторгается, потому что организм реципиента воспринимает ткань донора как чужеродный белок и начинает производить антитела против него. Пересадку тканей лучше всего производить, если в качестве донора и реципиента выступают однояйцовые близнецы. Их полностью идентичный генный аппарат обеспечивает полную идентичность белков, поэтому они могут обмениваться не только тканями, но и целыми органами, такими, как, например, почки.

Первая успешная пересадка почки от одного однояйцового близнеца другому была произведена в декабре 1954 года в Бостоне. Реципиент скончался в 1962 году в возрасте 30 лет от недостаточности коронарных сосудов. Пересадки почек производились и позже, и сотни реципиентов жили после операции в течение нескольких месяцев, а иногда и лет даже в том случае, когда донорами служили лица, не имеющие с ними родственных отношений. В декабре 1967 года южноафриканский хирург Кристиан Бернард произвел первую успешную трансплантацию сердца. Счастливым реципиентом стал Филипп Блайберг, отошедший от дел стоматолог, пересадка сердца продлила ему жизнь на несколько месяцев.

После этого события пересадка сердца стала на некоторое время повсеместным увлечением хирургов, но к концу 1969 года энтузиазм экспериментаторов поутих. Правда, были зафиксированы случаи, когда реципиенты жили с чужим сердцем довольно долго, но гораздо чаще вставала проблема отторжения чужерод-

ных тканей. Эта проблема казалась непреодолимой, несмотря на все попытки взять под контроль нежелание организма смириться с появлением в нем любой ткани, помимо его собственной.

Австралийский иммунолог Фрэнк Макфарлан Бёрнет выдвинул предположение, что эмбриональные ткани могут быть восприняты чужим организмом как свои и что у животных, живущих в естественных условиях на свободе, реакции отторжения этих тканей не должны происходить. Британский биолог Питер Брайан Медавар, работая с мышинными эмбрионами, экспериментально подтвердил правильность предположения Бёрнета. В результате эти двое ученых в 1960 году получили Нобелевскую премию по медицине и физиологии.

В 1962 году австралийский иммунолог, выходец из Франции, Жак Франсис Алберт Пьер Миллер, работавший в Англии, пошел дальше в разрешении проблемы отторжения тканей; он показал, в чем кроется причина толерантности к эмбриональной ткани. Он установил, что вилочковая железа (тимус), с тканями которой до него никто не работал, ответственна за образование антител в организме. Если эту железу у мыши удалить при рождении, то такая мышь проживет не больше трех-четырех месяцев, она погибнет из-за полной неспособности защитить себя от воздействия внешней среды. Если же тимус у мыши удалить через три недели после ее рождения, когда прошло достаточно времени для развития клеток, продуцирующих антитела в организме, то такое удаление не принесет животному особого вреда. Эмбрионы, в которых тимус еще не успел выполнить свою защитную функцию, можно «научить» быть толерантными к чужой ткани. И может наступить время, когда путем воздействия на тимус мы сможем «воспитать» в организме восприимчивость к чужеродной ткани в любом возрасте.

Но разрешение проблемы отторжения тканей может стать поводом для возникновения новых проблем, на этот раз уже этических. Ведь, помимо всего прочего, прежде, чем пересадить человеку живой орган, этот орган нужно взять у другого человека. И тогда встает вопрос: когда предполагаемого донора можно считать достаточно мертвым, чтобы изъять у него орган? С одной стороны, у донора должно наступить состояние необратимой смерти, чтобы взятие у него жизненно важного органа не рассматривалось как умышленное убийство, с другой стороны, тело донора должно быть достаточно живым, чтобы орган сохранил жизнеспособность.

Во избежание проблем как иммунологического, так и этического плана можно создавать искусственные органы, которые выполняли бы те же функции или, по крайней мере, самые важные функции своего живого прототипа. Так, в 40-х годах XX века появилась искусственная почка, которую применяли для периодической очистки крови от продуктов метаболизма у больных с

почечной недостаточностью. Такие больные один или два раза в неделю должны были приходить в больницу и подвергаться длительной процедуре очистки крови от токсических продуктов обмена. Искусственная почка — аппарат громоздкий, процедура дорогостоящая, поэтому далеко не каждому удавалось воспользоваться ею, да и в случае хронического заболевания она продляла жизнь ненадолго.

Тогда же, в 40-х годах XX столетия, исследователи обнаружили, что аллергические реакции вызываются появлением в крови небольших количеств вещества, имеющего название *гистамин*. Это послужило поводом для поиска и исследования веществ, нейтрализующих действие гистамина, так называемых *антигистаминных средств*, которые препятствуют проявлению симптомов аллергии, хотя саму аллергию и не устраняют. Первый антигистаминный препарат был создан в 1937 году в Институте Пастера в Париже, его автором стал швейцарец по происхождению Даниэль Бове, который за создание и изучение свойств этого препарата, а также за исследование некоторых химиотерапевтических средств в 1957 году был удостоен звания лауреата Нобелевской премии в области медицины и физиологии.

Приняв во внимание тот факт, что насморк и прочие симптомы аллергии весьма схожи с симптомами простуды, американские фармацевтические фирмы решили, что с помощью антигистаминных препаратов можно лечить простуду, и в 1949—1950 годах буквально завалили Соединенные Штаты этими лекарственными средствами. Но позже оказалось, что антигистаминные средства не излечивают простуду, и мода на них прошла.

В 1937 году благодаря появлению электрофоретических методов разделения белков биологи наконец-то обнаружили, с каким компонентом крови ассоциируются антитела. Все антитела локализовались во фракции белков крови, именуемой *гамма-глобулинами*.

Педиатры давно знали, что организм некоторых детей не способен продуцировать антитела и что такие дети подвержены частым инфекционным заболеваниям. В 1951 году врачи одной из больниц Вашингтона провели электрофоретический анализ плазмы крови восьмилетнего мальчика, у которого была тяжелая форма сепсиса (заражения крови), и, к своему изумлению, обнаружили, что в его крови гамма-глобулины отсутствуют вообще. Вскоре обнаружили еще ряд подобных случаев. Исследователи установили, что причиной отсутствия в крови этой фракции белков являются врожденные нарушения метаболизма, вследствие которых гамма-глобулины в организме не образуются; это состояние называется *агаммаглобулинемия*. У лиц, страдающих агаммаглобулинемией, иммунитет к бактериям не образуется, и жить они могут только постоянно принимая антибиотики. Удивительным является факт, что против вирусов у таких людей иммуни-

тет развивается: переболев однажды корью или ветрянкой, второй раз этими болезнями они не заразятся. Это наблюдение навело на мысль, что антитела не являются единственной защитой организма против вирусов.

В 1957 году группа британских бактериологов, которую возглавлял Алек Айзекс, показала, что клетки при попадании в них вирусов выделяют белок, обладающий широким спектром противовирусного действия. Этот белок способен вступать в единоборство не только с вирусами, которые явились причиной настоящей инфекции, то и с теми, которые вызывают другие болезни. Этот белок получил название *интерферон*. Он образуется гораздо быстрее, чем антитела, и, наверное, его появлением можно объяснить невосприимчивость к вирусным заболеваниям у лиц, страдающих агаммаглобулинемией. По всей видимости, образование этого белка стимулирует двухцепочечная РНК, обнаруживаемая в вирусах. Интерферон, вероятно, управляет синтезом матричной РНК, на которой синтезируется антивирусный белок, ингибирующий синтез вирусного белка, но не влияет на синтез остальных белков в клетке. Интерферон обладает свойствами антибиотика, только его действие направлено на вирусы, он не повышает сопротивляемость организма. Он достаточно видоспецифичен: защитное действие в организме человека будут производить только интерфероны, полученные из клеток человека или других приматов.

Рак

По мере снижения угрозы инфекционных заболеваний стала повышаться частота проявления болезней другого рода. Если еще 100 лет назад люди в молодом возрасте умирали от туберкулеза, дифтерии, воспаления легких или тифа, то теперь, когда продолжительность жизни увеличилась, наиболее частыми причинами смерти стали сердечно-сосудистые заболевания и злокачественные опухоли. На Западе именно эти две группы болезней являются соответственно убийцами номер один и номер два. Страх человечества перед чумой и оспой сменился страхом перед онкологическими заболеваниями. Этот меч, нависший над нашей головой, готов опуститься на каждого из нас без предупреждения и сострадания. От рака ежегодно умирают 300 000 американцев, 10 000 новых случаев заболевания регистрируется еженедельно. По сравнению с 1900 годом заболеваемость раком возросла на 50 процентов.

В действительности рак — это не одно, а целая группа заболеваний (в настоящее время насчитывается около 200 его разновидностей), поражающих различные органы человеческого тела; способ поражения органов у отдельных разновидностей этого заболевания также различный. Правда, первичное нарушение бывает всегда одно — это беспорядочный и неконтролируемый рост пораженной

ткани. Название болезни происходит еще от Гиппократ и Галена, которые представляли себе ее распространение в организме наподобие рака, тянущегося своими клешнями к здоровой ткани.

Термин «опухоль» вовсе не является синонимом рака; он применим как к безобидным бородавкам или папилломам (так называемые *доброкачественные опухоли*), так и к раку (*злокачественные опухоли*). Различные виды рака имеют свои названия, в зависимости от того, какие ткани поражены болезнью. Рак кожи или слизистой желудочно-кишечного тракта (наиболее частые формы рака) носит название *карцинома*, рак соединительной ткани — *саркома*, рак печени — *гепатома*, рак желез называется *аденома*, рак белых клеток крови — *лейкемия* и т. д.

Первым исследовал под микроскопом пораженную опухолью ткань немецкий патолог Рудольф Вирхов. Он полагал, что рак возникает из-за частого раздражения или травмирования ткани факторами внешней среды. Его предположение было вполне обоснованным: наблюдения свидетельствовали, что наиболее часто опухоль поражает именно те ткани, которые соприкасаются с внешней средой. Позднее, когда стала популярной теория, согласно которой рак вызывали микробы, патологи пытались найти микроорганизмы, вызывающие развитие этого заболевания. Вирхов не поддерживал теорию инфекционной причины рака и упорно отстаивал свою теорию, согласно которой причиной болезни было частое раздражение ткани. (Когда большинство исследователей склонилось в сторону инфекционной теории заболевания, Вирхов забросил патологию и занялся археологией и политикой. За всю историю науки лишь немногие ученые расстались со своим ошибочным мнением столь решительным образом.)

Если бы Вирхов остался последовательным до конца и продолжал бы настаивать на своей точке зрения, то в конце концов ученый мир понял бы, что он прав. На то время существовало немало доказательств в пользу того, что некоторые условия окружающей среды особенно часто приводят к возникновению рака. Еще в XVIII веке было замечено, что рак мошонки чаще встречается у трубочистов, чем у остальных людей. После появления красителей на основе каменноугольной смолы у рабочих, занятых на производстве таких красителей, чаще, чем у представителей других специальностей, возникал рак кожи и рак мочевого пузыря. Стало ясным, что сажа и красители содержат вещество, способное вызвать рак. Позже, в 1915 году, японские ученые К. Ямаджива и К. Ихикава обнаружили, что одна из фракций каменноугольной смолы при частом нанесении ее на ухо кролика вызывает у животных развитие рака. В 1930 году британские химики показали, что синтетическое вещество *дибензантрацен* (углеводород, молекула которого состоит из пяти бензольных колец) также способно вызвать появление рака у животных. Это вещество не содержится в каменноугольной смоле, но тремя года-

ми позже было обнаружено, что другое вещество, *бензапирен*, которое в ней содержится и которое состоит также из пяти бензольных колец, правда соединенных по-другому, нежели в дибензантраcene, может быть причиной возникновения рака.

В настоящее время установлено, что многие вещества могут быть *канцерогенами*, то есть вызывать развитие рака. Некоторые из них являются углеводородами, состоящими из нескольких бензольных колец, наподобие упомянутых выше. Молекулы других канцерогенов похожи на молекулы анилиновых красителей. Как оказалось, некоторые красители, используемые в пищевой промышленности, при длительном употреблении также способны спровоцировать возникновение этой опасной болезни.

Многие биологи считают, что интенсивная деятельность человека за последние два-три века привела к появлению в окружающей среде новых канцерогенных факторов. Это и возросшее потребление угля, это и сжигание больших количеств масел, особенно в двигателях, работающих на бензине, это и все возрастающее использование синтетических веществ при производстве продуктов питания и косметики и т. д. Очень часто причиной возникновения рака является курение; по крайней мере, статистически достоверно установлено, что частота возникновения рака легких связана с этой вредной привычкой.

Одним из канцерогенных факторов несомненно является радиационное излучение, которому человек стал чаще подвергаться начиная с 1895 года.

Пятого ноября 1895 года немецкий физик Вильгельм Конрад Рентген проделал эксперимент по изучению люминесценции, вызываемой катодными лучами. Чтобы эффект был нагляднее, он наглухо зашторил окна в лаборатории. Электронно-лучевую трубку он поместил в черный картонный ящик. Когда Рентген включил ее, он поразился, увидев вспышку света, исходящего от чего-то на другой половине комнаты. Оказалось, свет исходил от листа бумаги, покрытого платиноцианидом бария, люминесцирующим веществом. Как это возможно: излучение проникает через стенки коробки и вызывает свечение бумаги. Рентген выключил электронно-лучевую трубку, и свечение исчезло. Тогда он опять включил трубку — свечение появилось вновь. Рентген перенес бумагу в другую комнату — она продолжала светиться. Ученому стало ясно, что в электронно-лучевой трубке возникает некая форма излучения, способного проникать не только сквозь картон, но и сквозь стены.

У Рентгена не было никаких идей относительно происхождения этих лучей, поэтому он дал им простое название — *X-лучи*. Другие ученые стали называть их *рентгеновскими лучами*. (Теперь мы знаем, что скорость разогнавшихся электронов — катодные лучи являются потоком электронов — при попадании на их пути

металлического барьера резко снижается и кинетическая энергия электронов переходит в энергию излучения, которое получило название *тормозное излучение*. Рентгеновские лучи и являются примером такого излучения.)

Открытие рентгеновских лучей произвело бум в физике. Они буквально захватили воображение ученых, явились причиной целого шквала экспериментов, в результате которых всего несколько месяцев спустя было открыто явление радиоактивности, и исследователи смогли погрузиться во внутренний мир атома. Когда в 1901 году начали присуждать нобелевские премии, Рентген первым из физиков был удостоен этой высокой награды.

Открытие жесткого рентгеновского облучения принесло с собой и нечто другое — его воздействие на человека можно было использовать в диагностических целях. Уже через четыре дня после того, как известие об открытии Рентгена достигло Соединенных Штатов, с помощью рентгеновских лучей определили место нахождения пули в ноге человека. Рентгеновские лучи стали прекрасным средством для исследования внутренних органов человека. Они легко проходят через мягкие ткани, состоящие, главным образом, из элементов с низкой атомной массой, но задерживаются там, где встречаются элементы с более высокой атомной массой, например в костях, состоящих в основном из фосфора и кальция. На фотографической пластине, расположенной позади человеческого тела, кости выглядят как светлые структуры на фоне темных поверхностей — тех частей тела, где рентгеновские лучи проходят более интенсивно, поскольку они менее поглощаются мягкими тканями. Покрытая свинцом пуля выглядит совершенно белой, поскольку свинец полностью задерживает рентгеновские лучи.

Особенно полезны рентгеновские лучи при исследовании целостности костей: нет ли в них переломов, обызвествленных сочленений; при определении наличия полостей в зубах, поисках инородных тел в тканях организма и т. п. С помощью их легко определить очертание внутренней поверхности полых органов; для этого нужно только ввести в них нерастворимые в воде соли тяжелых элементов. Например, сульфат бария, если его проглотить, обрисовывает внутреннюю поверхность желудка и кишечника. Соединения йода при введении их в кровь, попадая в почки и мочеточники, дают картину их внутреннего строения — у йода высокий атомный вес, поэтому он непроницаем для рентгеновских лучей.

Еще до открытия рентгеновских лучей датский врач Нельс Райберг Финсен обнаружил, что высокоэнергетическое облучение способно убивать микроорганизмы; он использовал ультрафиолетовый свет для уничтожения бактерий, вызывающих туберкулез кожи (за что в 1903 году получил Нобелевскую премию в области медицины и физиологии). Оказалось, что рентгеновские

лучи гораздо более губительно действуют на микроорганизмы, они даже способны убить грибок, вызывающий стригущий лишай. Они могут повредить или даже разрушить человеческие клетки. Их использовали для уничтожения раковых клеток после хирургического удаления опухолей.

Что было установлено еще? Это то, что рентгеновское излучение, как высокоэнергетическое излучение, способно *вызвать* рак. По крайней мере 100 человек, работавших с рентгеновскими лучами и радиоактивными материалами сразу же после открытия тех и других, умерли от рака; первый случай произошел уже в 1902 году. Мария Склодовская-Кюри и ее дочь, Ирен Жолио-Кюри, — обе умерли от лейкемии, и нет причин сомневаться в том, что причиной болезни в обоих случаях была радиация. В 1928 году британский врач Георг Уильям Маршалл Финдли обнаружил, что даже ультрафиолетовые лучи обладают достаточно высокой энергией, чтобы вызвать рак кожи у мышей.

Поэтому есть все основания предположить, что возросшая подверженность человека воздействию высокоэнергетического облучения (медицинские рентгенологические обследования и все прочее) является, по крайней мере частично, причиной увеличившегося за последние годы количества случаев онкологических заболеваний. Будущее покажет, насколько повлияют стронций-90 и другие радиоактивные элементы, попадающие на нас с осадками, на частоту заболеваемости раком.

Но что же общего у химических соединений, радиации и прочих канцерогенных факторов? Одним из разумных объяснений является то, что все они способны вызывать образование генетических мутаций и что рак может возникать в результате мутаций в клетках человека.

Предположим, что некий ген изменился таким образом, что стал неспособен управлять образованием какого-то ключевого фермента, контролирующего клеточный рост. При делении такой клетки дефект гена перейдет к дочерним клеткам. Если контроль над делением не функционирует, клетки могут делиться неопределенно долго, безотносительно того, нужны ли они организму в целом или ткани, в которой произошла мутация (бесконтрольно делящиеся клетки не становятся специализированными, то есть не могут выполнять той функции, для которой они предназначены). Ткань становится дезорганизованной, можно сказать, в организме возникает очаг анархии.

То, что высокоэнергетическое излучение способствует образованию мутаций, — факт достоверно установленный. Но могут ли вызвать мутации химические канцерогены? Наличие у химических веществ этого опасного свойства также можно продемонстрировать. Хорошим примером является группа соединений, так

называемых нитрогорчиц. Эти соединения, как и горчичный газ, или иприт, использованный во времена Первой мировой войны, вызывают появление на коже ожогов и волдырей, точно таких же, какие появляются после сильного рентгеновского облучения. Эти соединения так же, как и высокоэнергетическое излучение, способны вызвать поломки в хромосомах и ускорить образование мутаций. Более того, ряд других химических веществ, как обнаружено, аналогичным образом способен воспроизводить действие радиации.

Химические соединения, вызывающие образование мутаций, получили название *мутагены*. Установлено, что не все мутагены являются канцерогенами, равно как и не все канцерогены обладают мутагенной активностью. Но вместе с тем существует достаточное количество примеров веществ, являющихся и канцерогенами, и мутагенами одновременно, и это позволяет предположить, что такое совпадение не случайно.

Вместе с тем мысль о том, что возникновение рака каким-то образом связано с микроорганизмами, продолжает жить. С открытием вирусов эта бывшая популярной во времена Пастера теория реанимировалась. В 1903 году французский микробиолог Амади Боррель выдвинул предположение, что рак может быть вирусным заболеванием, и в 1908 году два датчанина — Вильгельм Эллерман и Олаф Банг — достоверно продемонстрировали, что лейкемия у кур вызывается вирусами, но лейкемию в то время не считали формой рака, поэтому вывод, к которому пришли датские исследователи, остался без должного внимания. Однако в 1909 году американский врач Фрэнсис Пейтон Роуз изъяс у курицы опухоль, размельчил опухолевую ткань до гомогенного состояния, профильтровал гомогенат и ввел отфильтрованную жидкость здоровым курам. У некоторых из них через некоторое время образовалась опухоль. Чем меньше были поры у фильтра, тем реже возникала опухоль. Получалось, что развитие опухоли вызывали некие частицы определенного размера, и если судить по их размеру, похоже, что этими частицами были вирусы.

С этого времени началась непростая история *опухолевых вирусов*. Вначале исследователи накапливали все больше и больше фактов, свидетельствующих о связи опухолей и вирусов. Так, например, было показано, что образование папиллом (кожных образований, похожих на бородавки) у кролика вызывают вирусы. В 1936 году Джон Джозеф Биттнер, работавший в Бар-Харборе, штат Мэн, в известной лаборатории, занимавшейся разведением мышей, наткнулся на нечто более интересное. Мод Слай, работавшая в той же лаборатории, вывела линию мышей, которые, казалось, имели врожденную устойчивость к раку, а также другую линию, наоборот, вроде бы склонную к развитию этого заболевания. У одних линий мышей рак развивался очень быстро, у других болезнь также развивалась почти всегда, но после

достижения половозрелого возраста. Биттнер проделал такой эксперимент: он поменял местами новорожденных мышат так, чтобы они питались молоком матерей, принадлежащих к противоположной линии. Результат оказался поразительным! У устойчивых к раку мышат, которые питались молоком матерей, склонных к раку, быстро развивался рак; и, наоборот, мышата, склонные к возникновению заболевания, сосавшие устойчивых к раку матерей, становились также устойчивыми к развитию опухоли. Из этого Биттнер сделал заключение, что фактор, вызывающий рак, не передается по наследству, он передается потомству с молоком матери. Он назвал этот фактор *молочным фактором*. (Фактором принято называть некое вещество, природа которого неизвестна. — *Примеч. пер.*)

Естественно, сразу же возникло подозрение, что молочный фактор Биттнера есть не что иное, как вирус. И действительно, биохимик из Колумбийского университета Самуэль Графф идентифицировал фактор как частицу, содержащую нуклеиновую кислоту. Впоследствии были обнаружены и другие опухолевые вирусы, вызывавшие опухоли у мышей и лейкемию у птиц, и все они содержали нуклеиновые кислоты. Что касается опухолей человека, то четкой взаимосвязи их с вирусами не обнаружено, правда, исследования, ведущиеся в этом направлении, по вполне понятным причинам не могут быть столь широкими, как в случае мышей или кур.

Мутационная и вирусная теории возникновения рака начали постепенно сближаться. Все противоречия между ними оказались кажущимися. Вирусы и гены имеют очень важное общее свойство: основой их структуры являются нуклеиновые кислоты, которые и определяют схожий образ действия и одного и другого. И действительно, в 1959 году группа американских исследователей, которую возглавлял Дж.А. ди Майорка, выделила из вируса, вызывающего опухоль у мышей, ДНК и показала, что при введении ее здоровым мышам она вызывает образование опухоли так же эффективно, как это делает вирус.

Итак, различия между вирусной и мутационной теориями возникновения рака свелись на нет. Какая разница, каким образом в клетке появляется нуклеиновая кислота, вызывающая развитие опухоли: то ли она образуется вследствие мутации, то ли попадает вместе с вирусом снаружи? Обе эти возможности не исключают друг друга, причиной возникновения рака может стать и то и другое.

Однако до 1966 года гипотезу о вирусной природе рака не считали столь правомерной, чтобы наградить ее автора Нобелевской премией. К счастью, Пейтон Роуз, сделавший свое открытие еще 55 лет назад, смог дожить до 1966 года, когда ему была присуждена Нобелевская премия в области медицины и физиологии. (Роуз умер в 1970 году в возрасте 90 лет, почти до последних дней жизни он занимался исследовательской работой.)

Что изменяется в метаболизме клеток при их необузданном росте? На этот вопрос окончательного ответа не найдено. Есть основания полагать, что в этом замешаны гормоны, особенно это касается половых гормонов.

Во-первых, как известно, половые гормоны стимулируют быстрый рост отдельных органов человеческого тела (например, молочные железы у девочек в подростковом возрасте). Во-вторых, клетки тканей половых органов — молочных желез, шейки матки, яичников у женщин, а также яичек и предстательной железы у мужчин — особенно подвержены риску злокачественного перерождения. Однако наиболее убедительными кажутся свидетельства, носящие химический характер. В 1933 году немецкому биохимику Генриху Виланду (который в 1927 году получил Нобелевскую премию по химии за серию работ с желчными кислотами) удалось превратить желчную кислоту в сложный углеводород, так называемый *метилхолантрен*, являющийся сильным канцерогеном. Молекула метилхолантрена, как и молекулы желчных кислот, состоит из четырех колец, сочлененных в стероидную структуру, а основу молекул всех половых гормонов также составляет стероид. Может быть, деформированные молекулы половых гормонов действуют как канцероген? Или, может быть, измененные гены воспринимают имеющую правильную форму молекулу полового гормона как канцероген и отвечают на ее воздействие неуправляемым ростом? Это только предположения, но они вполне могут оказаться правильными.

Достаточно неожиданным является тот факт, что иногда изменение количества половых гормонов в организме приостанавливает размножение раковых клеток. Так, например, кастрация, произведенная в целях снижения образования в организме мужских половых гормонов, или введение нейтрализующих их действие женских половых гормонов имеют положительный эффект при раке предстательной железы. Едва ли подобные мероприятия можно отнести к методам лечения рака, скорее они являются результатом отчаяния перед этим грозным заболеванием.

До сих пор основным лечением рака является хирургическое вмешательство. Но до сих пор хирургическое лечение сохранило все те ограничения, которые были всегда: иногда опухоль располагается в таком месте, что ее нельзя удалить так, чтобы пациент при этом остался жив; часто при операции раковые клетки (дезорганизованная опухолевая ткань имеет свойство легко распадаться) попадают в кровоток и разносятся кровью по всему организму; попав в какой-либо из органов, они вновь начинают бесконтрольно размножаться.

Применение облучения для того, чтобы убить раковые клетки, также имеет свои ограничения. Значительный прогресс в лучевой терапии произошел после появления искусственных радиоизотопов, которые пришли на помощь бывшим когда-то традици-

онными рентгеновским лучам и радио. Один из них, кобальт-60, дает высокоэнергетическое гамма-излучение и стоит намного дешевле радия, другой — один из изотопов йода, — при приеме его раствора внутрь, накапливается в щитовидной железе, где разрушает раковые клетки. Однако толерантность организма к радиации ограничена, и всегда существует опасность, что облучение в большей степени будет способствовать возникновению опухоли, нежели уничтожать ее.

До сих пор хирургическое вмешательство и лучевая терапия — это основные методы лечения опухолей, существующие на сегодняшний день, и хирурги и радиологи спасли или, по крайней мере, продлили много жизней. Вольно или невольно человеку придется надеяться именно на эти методы, пока ученые не найдут «волшебную пулю», которая, не затрагивая здоровые ткани, сможет обнаружить малигнизированные клетки и разрушить их или остановить их безудержное деление.

В настоящее время большое количество исследований проводится в двух направлениях. Одно из них — подробно разобраться в механизме деления клеток, чтобы научиться управлять этим процессом. Второе — узнать как можно больше о том, как клетка управляет собственным метаболизмом, тогда, быть может, удастся найти принципиальные различия в совокупности химических процессов, протекающих в опухолевых и нормальных клетках. Конечно же какие-то различия уже найдены, но, увы, до сих пор они остаются неизвестными.

А пока биологи ищут причины ракового перерождения клеток, химики и фармакологи заняты поисками лекарственных средств против страшного недуга. Желая найти эти средства, они проводят скрининг химических соединений, то есть опробывают их противораковую активность. В надежде найти «волшебную пулю» ежегодно тестируется около 50 000 химических веществ. На какое-то время исследователям показались перспективными нитрогорчицы: убивая раковые клетки, они воспроизводят действие радиации, поэтому способны, по крайней мере, продлить жизнь больному. Но совершенно очевидно, что применение этой группы средств — мера паллиативная.

Большие надежды ученые связывают с самими нуклеиновыми кислотами. Ведь должны же быть хоть какие-то различия между нуклеиновыми кислотами здоровых и раковых клеток. Их цель — найти способ химического воздействия на работу нуклеиновых кислот перерожденных клеток, который не затрагивал бы здоровые клетки организма. Если такой способ будет найден, то нескольких граммов песка, подброшенных в сложный агрегат человеческого организма, будет вполне достаточно, чтобы испортить механизм раковой клетки, не вызвав серьезных нарушений в работе здоровых.

Поясню на примере. Одним из веществ, необходимых клетке для производства нуклеиновых кислот, является фолиевая кисло-

та. Из нее синтезируются пурины и пиримидины — блоки, из которых, в свою очередь, собираются нуклеиновые кислоты. Допустим, мы введем в организм некое вещество, похожее по структуре на фолиевую кислоту. Поскольку скорость синтеза нуклеиновых кислот в опухолевых клетках выше, чем в нормальных, это вещество по конкурентному механизму начнет тормозить образование ДНК и РНК в раковых клетках и мало влиять на синтез нуклеиновых кислот в здоровых тканях. Без нуклеиновых кислот раковые клетки не смогут размножаться. Такие вещества, *антагонисты фолиевой кислоты*, известны. Одно из них, *аметоптерин*, обладает небольшим противораковым действием при лейкемии.

Атаку на опухолевую клетку можно проводить более направленно. Почему бы не ввести в нее конкурентный заместитель самих пуринов или пиримидинов, например *6-меркаптопурин*? Это соединение похоже на аденин, за исключением того, что у него вместо NH_2 -группы находится SH -группа.

Если даже найти средства для лечения хотя бы одной группы опухолей, то это уже будет хорошо. Злокачественные клетки некоторых форм лейкемии, в отличие от нормальных клеток, не могут сами синтезировать аспарагин, поэтому нуждаются в поставке его извне. В этом случае введение аспарагиназы — фермента, разрушающего аспарагин, снизит его содержание в крови, что вызовет гибель малигнизированных клеток от голода, тогда как здоровые клетки смогут выжить.

Во всем мире проводятся широкомасштабные исследования, направленные на поиски средств борьбы с раком. В отличие от остальных биологических исследований они довольно щедро финансируются. Биологи, медики и химики уже достигли определенных результатов: у одного человека из трех, заболевших раком, есть шанс вылечиться и прожить нормальную жизнь. Но до полной победы еще далеко, ведь разгадать трудную загадку рака — это все равно что разгадать тайну жизни.

Глава 14

ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА

Пища

Вероятно, первым серьезным достижением медицины стало признание врачами факта, что одним из залогов здоровья является простая и сбалансированная диета. Еще греческие философы всячески пропагандировали умеренность в еде и потреблении напитков. Они делали это не только руководствуясь философской точкой зрения, но и потому, что люди, следующие этому правилу, чувствуют себя хорошо и живут дольше. Да, умерен-

ность в еде важна, но биологи стали утверждать, что одной только ее для правильного питания недостаточно. Даже тот, кто лишь благоразумно избегает крайностей — не изнуряет себя голодом или не переедает, — недостаточно правильно относится к своей диете, если не включает в нее некоторые ингредиенты (это касается преимущественно населения тех регионов планеты, где эти ингредиенты в продуктах питания отсутствуют).

Человеческий организм достаточно специализирован в том, что касается потребности в питании. Растения могут жить, потребляя только углекислый газ, воду и определенные неорганические ионы. Органическое питание им не нужно. Некоторые микроорганизмы, подобно растениям, также способны обходиться без органической пищи. Такие организмы называют *аутотрофами* (что в переводе с греческого означает «кормящие сами себя»), и это означает, что они могут жить в среде, в которой отсутствуют другие живые организмы. Хлебная плесень *Neurospora* более требовательна — ей необходимы сахар и витамин биотин. И вообще, чем сложнее становится форма жизни, тем больше органических веществ требуется для ее существования. Причина этого проста: по мере развития виды утрачивают некоторые ферменты, присущие более примитивным организмам. В зеленых растениях есть полный набор ферментов, позволяющий им из неорганических соединений производить все необходимые растениям аминокислоты, белки, жиры и углеводы. Хлебная плесень обладает всеми этими ферментами, за исключением одного или нескольких, тех самых, которые как раз и необходимы для синтеза сахара и биотина. Если, продвигаясь вверх, дойти до человека, то можно увидеть, что в тканях его организма отсутствуют ферменты, необходимые для синтеза значительного количества аминокислот, витаминов и многого другого, что он должен потреблять уже в готовом виде с пищей.

На первый взгляд такой ход эволюции может показаться странным: ведь это своего рода деградация, так как по мере развития видов наблюдается все возрастающая их зависимость от окружающей среды. Но это не так. Если окружение предоставляет организму готовые строительные блоки, зачем ему самому содержать сложный ферментный механизм, который производит эти блоки? Избавившись от такого механизма, клетка сможет тратить свою энергию более продуктивно, использовать ее для более специализированных целей.

Английский врач Уильям Праут (тот самый Праут, который, на целый век опередив события, высказал предположение, что все элементы состоят из водорода) первым предложил разделить все органические питательные вещества на три типа. Позднее им дали названия: углеводы, жиры и белки.

Химики и биологи XIX века (особенно следует отметить Юстуса фон Либиха из Германии) начали изучать питательные свойства углеводов, жиров и белков. Они обнаружили, что наиболее необходимым типом питательных веществ являются белки, так как человек может выжить, потребляя только белковую пищу, не содержащую жиров и углеводов. Человеческий организм не способен синтезировать белки из углеводов или жиров, поскольку в этих веществах отсутствует азот, но зато он может синтезировать необходимые углеводы и жиры из материала, поставляемого белками. Поскольку белковой пищи в природе встречается не так уж много, то было бы расточительно жить на одной лишь белковой диете — все равно что отапливать дом мебелью, когда есть дрова.

Кстати, в обычных условиях человеческого организму требуется удивительно мало белка. Ученые-медики утверждают, что взрослому человеку ежедневно требуется один грамм белка на килограмм веса, что составляет в среднем 65—75 граммов. Такую потребность можно удовлетворить, выпив около двух литров молока. Детям, беременным и кормящим матерям требуются большие количества белка.

Однако дело не только в количестве белка, важно и его качество. Еще в XIX веке пытались выяснить, может ли человечество во время голода выжить исключительно на желатине — белке, получаемом при температурной обработке костей, сухожилий и других несъедобных частей туши животного. Французский физиолог Франсуа Магенди показал, что собаки при кормлении их желатином, как основным источником белка, вначале теряют в весе, а потом и вовсе погибают. Это вовсе не означает, что желатин не годится для питания — просто желатин не содержит в своем составе всех белковых компонентов, необходимых организму. Полноценность белка определяется эффективностью, с которой организм может использовать азот, поставляемый с этим белком. В 1854 году английские зоотехники Джон Беннет Лоуз и Джозеф Генри Джилберт после содержания свиней на двух различных рационах, богатых белками, — на молотой чечевице и на молотом ячмене — пришли к выводу, что азот, содержащийся в ячмене, усваивается лучше. Это был первый эксперимент по определению *азотистого баланса*.

Растущий организм постоянно накапливает азот, который поступает вместе с пищей (случай *положительного азотистого баланса*). При голодании или в случае изнурительной болезни желатин, как основной источник белковой пищи, не удовлетворяет нужды организма в белковом питании, и, несмотря на поступление белка, организм теряет его (случай *отрицательного азотистого баланса*). Сколько бы желатина ни попало в организм, голодание будет продолжаться.

Почему так происходит? Химики того времени установили, что желатин — необычайно простой белок. В нем отсутствуют мно-

гие аминокислоты, входящие в состав большинства других белков, в частности триптофан. Без этих аминокислот организм не может синтезировать свои собственные белки, необходимые для его жизнедеятельности. Поэтому до тех пор, пока в рацион, помимо желатина, не войдут другие белки, аминокислоты, входящие в состав желатина, не будут утилизироваться, они просто выведутся из организма наружу. Это все равно что строители, собравшиеся срубить дом, запаслись бревнами и досками, но забыли о гвоздях. Без гвоздей они никогда не построят дом, и древесина со временем сгниет. В 90-х годах XIX века попытались повысить питательную ценность желатина, добавив к нему аминокислоты, отсутствующие в его составе. Однако эта попытка оказалась безуспешной.

Аминокислотные добавки приносили некоторую пользу, если их использовали с белками с более разнообразным, чем у желатина, аминокислотным составом. В 1906 году английские биохимики Фредерик Гоуланд Хопкинс и Э.Г. Уилкок попробовали кормить мышей пищей, состоящей только из белка *зеина*, получаемого из кукурузы. Они знали, что триптофана в этом белке содержится очень мало. Примерно после 14-дневного содержания на таком рационе мыши погибали. После введения в пищу триптофана мыши жили примерно в 2 раза дольше. Этот эксперимент убедительно доказал, что необходимым питательным компонентом являются скорее аминокислоты, нежели белки. (Правда, мыши по-прежнему погибали преждевременно, но это, скорее всего, было связано с недостатком в рационе некоторых витаминов, о которых в то время еще не знали.)

В 30-х годах XX века американский диетолог Уильям Роуз дошел до самой глубины проблемы аминокислот. К тому времени о существовании большинства витаминов было уже известно, и Роуз, введя их в рацион крысам как постоянный ингредиент, мог сосредоточить внимание исключительно на питательной ценности аминокислот. Вначале он полностью заменил в рационе белки на смесь аминокислот. Крысы, содержащиеся на таком рационе, жили намного короче обычного. Но если он кормил крыс *казеином*, белком, содержащимся в молоке, они чувствовали себя нормально и по продолжительности жизни не отличались от крыс, получавших обычные корма. Вероятно, в состав казеина входило что-то, скорее всего, какая-то неизвестная аминокислота, которой не было в той аминокислотной смеси, которая составляла рацион крыс. Роуз расщепил молекулу казеина на аминокислоты, разделил их и начал добавлять различные фрагменты казеина в свою аминокислотную смесь. Таким образом он обнаружил аминокислоту *треонин*. После того как Роуз ввел в аминокислотную питательную смесь треонин, крысы стали удовлетворительно развиваться без дополнительного включения в рацион белков.

Причина уменьшения продолжительности жизни подопытных была найдена: им не хватало треонина. Тогда Роуз пошел дальше: он начал по одной исключать аминокислоты из рациона крыс и следить за состоянием их здоровья. Этим способом он со временем идентифицировал еще 9 аминокислот, которые, помимо треонина, обязательно должны присутствовать в рационе крыс. Ими были лизин, триптофан, гистидин, фенилаланин, лейцин, изолейцин, метионин, валин и аргинин. При достаточном содержании в рационе названных 10 аминокислот крысы сами могут производить все остальные нужные им аминокислоты: глицин, пролин, аспарагиновую кислоту, аланин и прочие.

В 40-х годах Роуз переключился на изучение потребности человека в аминокислотах. Он убедил студентов, заканчивающих университет, какое-то время посидеть на диете, в которой единственным источником азота были аминокислоты. В 1949 году он завершил свои исследования, на основании которых сделал вывод: в рационе взрослого мужчины обязательно должны содержаться 8 аминокислот: фенилаланин, лейцин, изолейцин, метионин, валин, лизин, триптофан и треонин. Поскольку незаменимые для крыс аминокислоты аргинин и гистидин в их число не входили, можно было сделать заключение, что в отношении пищи человеческий организм менее специализирован по сравнению с организмом крысы или других млекопитающих, чьи особенности рациона достаточно хорошо исследованы.

В принципе человек может прожить, потребляя в пищу только эти 8 аминокислот. Получая их в достаточном количестве, он сможет синтезировать из них не только другие аминокислоты и, следовательно, белки, но и углеводы и жиры. В действительности меню, составленное из одних только аминокислот, получится очень дорогим, не говоря уже о том, что пища будет невкусной и однообразной. Но знание того, какие аминокислоты являются незаменимыми для организма, важно для увеличения питательной ценности белковой пищи в случаях, когда необходимо повысить эффективность поглощения и утилизации азота.

Витамины

Предрассудки и причуды, связанные с питанием, к сожалению, даже в наше просвещенное время вводят в заблуждение слишком многих людей и как следствие плодят слишком большое количество «от всего помогающих» диет и книг, описывающих эти диеты в деталях. Хотя, может быть, именно просвещенные времена и являются лучшими временами для проявления разного рода чудачеств. На протяжении большей части своей истории человек питался тем, что мог найти неподалеку от места, где он жил. Но территория эта была достаточно ограничена,

и пищи часто недоставало, поэтому он ел все, что можно было есть, или голодал. Никто не мог себе позволить быть разборчивым в еде, а коль скоро люди были неразборчивы, то и не существовало причуд, связанных с пищей.

Современные транспортные средства позволяют доставлять продукты питания с одного конца света на другой; особенно большие масштабы перевозки продуктов приобрели с того времени, как появились рефрижераторы. Это уменьшило угрозу голода, которая в прежние времена постоянно нависала над населением некоторых регионов, тогда как близлежащие территории изобиловали пищей.

Когда человек научился заготавливать продукты питания впрок, высушивая, засаливая, заквашивая их, добавляя в них сахар или другими способами, стало возможным домашнее хранение продовольствия. После того как был разработан вакуумный способ консервирования уже готовой пищи, стало возможным хранить продукты в их естественном состоянии (микроорганизмы погибали при термической обработке продуктов питания, а те, которые могли попасть в пищу после ее приготовления, не могли расти и размножаться в вакууме). Метод хранения продуктов в вакууме придумал французский повар Франсуа Аппер. Он разработал его, желая получить приз, которым император Наполеон I обещал наградить того, кто найдет способ сохранения продуктов для французской армии. В качестве тары Аппер использовал стеклянные банки. (В наши дни для этих целей применяют покрытые оловом стальные консервные банки; их неправильно называют жестяными, полагая, что они изготовлены из жести.) Начиная с 40-х годов XX века все большую популярность стали приобретать свежемороженые продукты. Широкое производство домашних морозильников сделало доступным хранение в замороженном состоянии самых разнообразных свежих продуктов. И каждый раз, как только увеличивались доступность и разнообразие продуктов питания, множилось и разнообразие связанных с ними причудей человека.

Я вовсе не хочу сказать, что трезвый, практический подход к выбору продуктов питания совершенно излишен. В некоторых случаях употребление в пищу определенных продуктов даже способствует излечению от целой группы заболеваний. Речь идет об *авитаминозах*, группе болезней, связанных с дефицитом в рационе некоторых веществ, важных для слаженной работы человеческого организма. Авитаминоз возникает почти всегда, когда человек не получает нормального сбалансированного питания, включающего широкое разнообразие продуктов.

Безусловно, то, что питание должно быть сбалансированным и разнообразным, знали не только практикующие врачи XIX века, это прекрасно понимали и раньше, когда еще ничего не было известно о химическом составе пищи. Известным примером это-

му служит Флоренс Найтингейл, отважная английская сестра милосердия времен Крымской войны, которая, помимо хорошего ухода за ранеными, первой начала практиковать составление рациона, полностью соответствующего потребностям их организма. Диетологи тем временем ждали конца XIX века, когда были открыты содержащиеся в пище в мизерных количествах вещества, столь необходимые для жизни.

В Древнем мире хорошо была известна цинга, заболевание, при котором капилляры становятся все более и более ломкими, десны кровоточат, зубы выпадают, раны заживают с трудом, если вообще заживают, у больного нарастает слабость, и в конце концов он умирает. Особенно часто эта болезнь возникала у жителей городов, находящихся в осаде, и у мореплавателей, совершавших долгие путешествия по океану. (Команда Магеллана больше страдала от цинги, чем от общего недоедания.) Корабли, отправляющиеся в долгое плавание, обычно загружали таким провиантом, который не испортился бы в пути. Обычно это были сухари и соленая свинина. К сожалению, врачи на протяжении многих веков не могли связать цингу с рационом.

В 1536 году французский землепроходец Жак Картье был вынужден остаться на зиму в Канаде, где 110 человек из его отряда заболели цингой. Местные индейцы, узнав об этом, предложили им средство: воду, настоянную на сосновой хвое. Люди Картье, будучи в полном отчаянии, последовали этому, на их взгляд, несерьезному совету и... выздоровели.

Два века спустя, в 1747 году, шотландский врач Джеймс Линд, столкнувшись с несколькими аналогичными случаями, попробовал лечить таких больных свежими фруктами и овощами. Апробируя свой метод лечения на матросах, страдающих цингой, он обнаружил, что быстрее всего улучшение состояния больных вызывают апельсины и лимоны. Капитан Кук, совершая в 1772—1775 годах исследовательское плавание по Тихому океану, в целях профилактики цинги заставлял членов своей команды регулярно употреблять в пищу квашеную капусту. К сожалению, высшие офицерские чины британского военно-морского флота только в 1795 году воспользовались результатами экспериментов Линда, включив в ежедневный матросский паек сок лайма¹ (да и то исключительно для того, чтобы предотвратить поражение своей страдающей цингой флотилии в морском сражении). Благодаря соку лайма британский военно-морской флот навсегда забыл, что такое цинга. (С тех пор английских матросов стали величать лайми, а прилегающий к Темзе район Лондона, где прежде хранили коробки с лаймами, до сих пор носит название Лаймхауз.)

Веком позже, в 1891 году, Такаки, адмирал японского военно-морского флота, также ввел разнообразие в рацион японских

¹ Л а й м н а с т о я щ и й — цитрусовое растение *citrus auran tifolia*.

матросов, состоявший до этого преимущественно из риса. Постоянная рисовая диета вызывала у экипажей японских судов заболевание, известное под названием *бери-бери*.

Несмотря на то что хотя и в достаточной степени случайно, но все же способы лечения цинги и бери-бери были найдены, медики XIX века отказывались верить тому, что заболевания можно лечить с помощью диеты, их недоверие особенно возросло после того, как Пастер выдвинул теорию, согласно которой причиной болезней являлись микробы. Однако в 1896 году голландский врач Христиан Эйкман убедил их в этом.

Эйкмана послали исследовать бери-бери в бывшие в то время голландской колонией острова Вест-Индии (ныне территория Индонезии. — *Примеч. пер.*), поскольку они являлись эпидемическим районом этого заболевания (даже в наши дни, когда известны причины, вызывающие болезнь, и способы ее лечения, бери-бери ежегодно уносит около 100 000 жизней). Такаки остановил распространение болезни, изменив диету, но жителям этого азиатского региона не приходило в голову, что причина этой болезни связана с особенностями питания.

Вначале Эйкман посчитал, что бери-бери — заболевание, вызываемое микробами, и, чтобы попытаться найти возбудителей этой болезни, использовал в качестве подопытных животных цыплят. По счастливой случайности человек, который следил за птицей, оказался нечист на руку. Почти всех цыплят разбил паралич, от которого большинство из них погибли, но те, которые остались живы, через четыре месяца пришли в себя и стали совершенно здоровыми. Эйкман, озабоченный тем, что его попытка обнаружить возбудителей болезни оказалась неудачной, заинтересовался, чем кормили цыплят, и обнаружил, что его слуга, отвечавший за их содержание, сэкономил на птице (что оказалось очень кстати): цыплят кормили остатками пищи из местного военного госпиталя — то есть преимущественно очищенным рисом. Когда же через несколько месяцев Эйкман нанял другого помощника, тот положил конец мелкому жульничеству и стал кормить цыплят тем, чем и положено, — неочищенным рисовым зерном, благодаря чему цыплята и выздоровели.

Эйкман начал экспериментировать. Он попробовал намеренно содержать цыплят на шлифованном рисе, и вскоре все они заболели. При переводе больных цыплят на неочищенный рис они выздоравливали. Это был первый случай в истории, когда заболевание умышленно вызывали неполноценным рационом. Эйкман решил, что *полиневрит*, которым страдали цыплята, по симптомам очень похож на болезнь бери-бери, поражающую людей. Может быть, и у человека бери-бери возникает оттого, что он потребляет в пищу шлифованный рис?

Рис, предназначенный для питания человека, шлифуют для того, чтобы он лучше хранился. Дело в том, что в рисовой ше-

лухе содержатся масла, которые быстро прогорают. Эйкман и Геррит Гринс, который с ним вместе работал, попробовали выяснить, что же такое содержится в рисовой шелухе, что предотвращает заболевание. Им удалось экстрагировать это вещество из шелухи водой, после чего они обнаружили, что оно проникает через мембрану, сквозь которую не проходят белки. Значит, молекулы вещества, поисками которого они занимались, должны быть небольшими. На этом исследовательские возможности Эйкмана были исчерпаны, и ему так и не удалось идентифицировать вещество, предохраняющее от бери-бери.

Тем временем другие исследователи натолкнулись на иные загадочные факторы, которые казались им необходимыми для нормального функционирования организма. В 1905 году голландский диетолог К.А. Пекельхаринг обнаружил, что все его лабораторные мыши заболели уже через месяц содержания их на рационе, полноценном относительно жиров, углеводов и белков. Мыши быстро почувствовали себя лучше после того, как он ввел в их рацион несколько капель молока. Биохимик из Англии Фредерик Хопкинс, который показал, насколько важно наличие в рационе аминокислот, также провел серию экспериментов, в результате которых был сделан вывод: в молочном белке казеин содержится нечто, что при добавлении в рацион обеспечивает нормальный рост и развитие организма. Это нечто хорошо растворялось в воде. Добавление в рацион небольших количеств экстракта дрожжей оказалось еще более эффективным, чем использование в качестве добавки казеина.

За пионерскую работу в обнаружении полезных питательных веществ, необходимых для жизни, Эйкман и Хопкинс в 1929 году были удостоены Нобелевской премии по медицине и физиологии.

Перед учеными возникла новая задача: найти в продуктах питания эти жизненно необходимые факторы. У. Сузуки, Т. Шимакура и С. Одаке экстрагировали из рисовой шелухи вещество, которое весьма эффективно предотвращало и излечивало бери-бери. Пяти—десяти миллиграммов этого вещества было достаточно, чтобы полностью вылечить кур. В том же году английский биохимик, поляк по происхождению, Казимир Фанк (позже он переехал в Соединенные Штаты) выделил подобное вещество из дрожжей.

Поскольку, как было установлено, это вещество по химической природе было амином (оно содержало аминогруппу NH_2), Фанк назвал его *витамином*, что в переводе с латыни означает «жизненный амин». Фанк высказал предположение, что бери-бери, цинга, пеллагра, рахит — все эти заболевания возникают из-за нехватки *жизненных аминов* в организме. Предположение

ученого оказалось верным только в том смысле, что все указанные заболевания действительно возникают при дефиците определенных веществ, содержащихся в пище в небольших количествах. Но, как оказалось позже, вовсе не все витамины по химической природе являются аминами.

В 1913 году два американских биохимика — Элмер Вернон Макколам и Маргарита Дэйвис — обнаружили другой фактор, который в незначительных количествах содержался в сливочном масле и в яичных желтках. Это вещество плохо растворялось в воде, но хорошо в жирах. Макколам дал ему название *жирорастворимый фактор А*, в отличие от вещества, предупреждающего возникновение бери-бери, которое он еще раньше определил как *водорастворимый фактор В* (*фактором* обычно называют неизвестное с точки зрения химической природы вещество, выполняющее определенную функцию. — *Примеч. пер.*).

Поскольку ничего больше о химической природе этих факторов не было известно, то обозначение веществ буквами оказалось вполне приемлемым. С той поры и вошло в традицию означать подобные факторы буквами латинского алфавита. В 1920 году английский биохимик Джек Сесил Драммонд изменил их названия на *витамин А* и *витамин В*. Он также предположил, что фактор, препятствующий возникновению цинги, отличается от этих витаминов, и назвал его *витамином С*.

Вскоре витамин А был идентифицирован как фактор, препятствующий развитию повышенной сухости тканей, окружающих глаз, — роговой оболочки и конъюнктивы. Это заболевание называют *ксерофтальмией*, что в переводе с греческого означает «сухие глаза». В 1920 году Макколам и его ассистенты обнаружили, что вещество, содержащееся в жире печени трески, которое эффективно помогало при лечении ксерофтальмии, препятствует и развитию заболевания костей — рахита. Они решили, что этот антирахитический фактор является четвертым витамином, который они назвали *витамином D*. Витамины D и А растворимы в жирах, а витамины С и В растворимы в воде.

Примерно к 1930 году стало ясно, что витамин В — это не одно вещество, а целая группа соединений, различающихся по своим свойствам. Тот его компонент, который был эффективен при лечении бери-бери, назвали витамином В₁, второй его компонент — витамином В₂ и т. д. Как оказалось впоследствии, открытие некоторых новых факторов, принадлежащих к группе витаминов В, оказалось артефактом. Это касается витаминов В₃, В₄ или В₅, о которых со времени заявления об их существовании никто больше не слышал. Тем не менее число этих факторов возросло до 14. В целом эта группа витаминов (все они растворимы в воде) получила название *комплекс витамина В*.

Исследователи открывали все новые и новые факторы, претендующие на роль витаминов (далеко не все они в действительно-

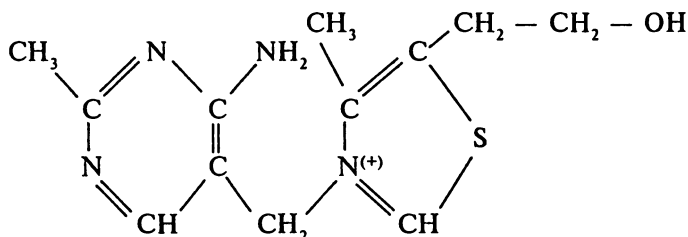
сти оказались таковыми), для их обозначения потребовались новые буквы. Появились витамины Е и К, оба жирорастворимые, они и на самом деле выполняют роль витаминов в организме; а вот витамин F, как оказалось, не был витамином, а витамин Н был одним из уже известных витаминов, принадлежащих к группе витаминов В.

В наши дни, когда химическая структура витаминов установлена, даже для обозначения истинных витаминов все реже прибегают к буквенному обозначению, предпочитая пользоваться химическим названием. Особенно это касается водорастворимых витаминов (для жирорастворимых по-прежнему довольно часто используется буквенное обозначение).

Однако установить химический состав и структуру витаминов было делом непростым, так как в продуктах питания они присутствуют в очень малых количествах. Например, тонна рисовой шелухи содержит всего лишь пять граммов витамина В₁. Только в 1926 году наконец-то удалось экстрагировать достаточное для проведения химического анализа количество витамина В. Два биохимика из Голландии — Баренд Конрад Петрус Янсен и Вильям Фредерик Донат, используя небольшое количество экстракта, установили состав витамина В. Однако, как выяснилось, их результаты оказались ошибочными. Попытку установить состав витамина В предпринял в 1932 году Одейк. Он взял для анализа большее количество экстракта, и это позволило ему получить почти верные результаты. Одейк первым установил, что в молекулу витамина входит атом серы.

И наконец, в 1934 году Роберт Р. Уильямс после 20 лет упорного труда, переработав тонны рисовой шелухи, выделил витамин В₁ в количестве, достаточном для того, чтобы установить наконец-то его структурную формулу.

Формула витамина В₁ такова:



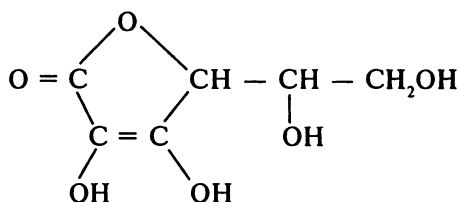
Поскольку наиболее неожиданной характеристикой молекулы стало наличие в ней атома серы (по-гречески «теион»), витамин В₁ получил название *тиамин*.

Исследователи, занимавшиеся витамином С, столкнулись с проблемами другого рода. Получить витамин С в достаточном количестве не представляло большого труда: его много содержит-

ся в плодах citrusовых растений. Гораздо труднее было найти экспериментальных животных, которые бы не вырабатывали свой собственный витамин С. Большинство млекопитающих, за исключением человека и других приматов, обладают способностью синтезировать этот витамин. Требовались недорогие подопытные животные, на которых можно было бы создать модель цинги, чтобы затем, скармливая им различные фракции, получаемые из сока citrusовых, узнать, в которой из них содержится витамин С.

В 1918 году американские биохимики Б. Коэн и Лафазетт Бенедикт Мендель наконец нашли таких экспериментальных животных, обнаружив, что морские свинки не могут синтезировать собственный витамин С. И действительно, у морских свинок цинга развивалась даже быстрее, чем у человека. Но тут возникла очередная трудность: витамин С оказался очень нестабильным (он самый нестабильный из витаминов), и все попытки выделить его заканчивались провалом, так как витамин при выделении терял свои свойства. Немало исследователей безуспешно трудились над решением этой проблемы.

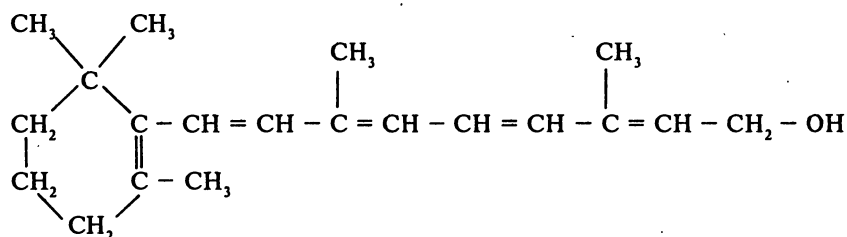
Получилось так, что выделил в конце концов витамин С человек, который специально этим вопросом не интересовался. Это был американский биохимик, венгр по происхождению, Алберт Сент-Дьерди. В то время, а это был 1928 год, он работал в лаборатории Хопкинса и, занимаясь проблемой использования кислорода тканями, выделил из кочанной капусты вещество, которое помогало переносить атомы водорода от одного соединения к другому. Вскоре после этого Чарльз Глен Кинг и его сотрудники из университета в Питсбурге, которые направлены занимались выделением витамина С, получили из капусты некое вещество, которое обладало сильным защитным действием против цинги. Более того, они обнаружили, что это вещество идентично кристаллам, полученным ими ранее из лимонного сока. В 1933 году Кинг установил структуру этого вещества. Оказалось, что оно состоит из шести атомов углерода, принадлежит к классу сахаров, относящихся к L-серии:



Этому веществу дали название *аскорбиновая кислота* (слово «аскорбиновая» происходит от греческого слова, означающего «нет цинги»).

Что касается витамина А, то первый намек на его структуру исследователи получили, заметив, что все продукты, богатые витамином А, имеют желтую или оранжевую окраску (сливочное масло, яичный желток, морковь, рыбий жир и т. д.). Оказалось, характерный цвет этим продуктам придает углеводород, известный под названием каротин, и в 1929 году британский биохимик Томас Мор показал, что в печени крыс, находившихся на рационе, содержащем каротин, накапливается витамин А. Витамин А не имел желтой окраски, из чего был сделан вывод, что сам по себе каротин не является витамином А, каротин — его предшественник, который преобразуется в печени в витамин А. (То есть является *провитамин*ом.)

В 1937 году американские химики Гарри Николс Холмс и Рут Элизабет Корбет выделили из рыбьего жира витамин А в кристаллическом виде. Оказалось, что состоит он из 20 атомов углерода и, по сути, является половиной молекулы каротина с гидроксильной группой в месте разрыва.

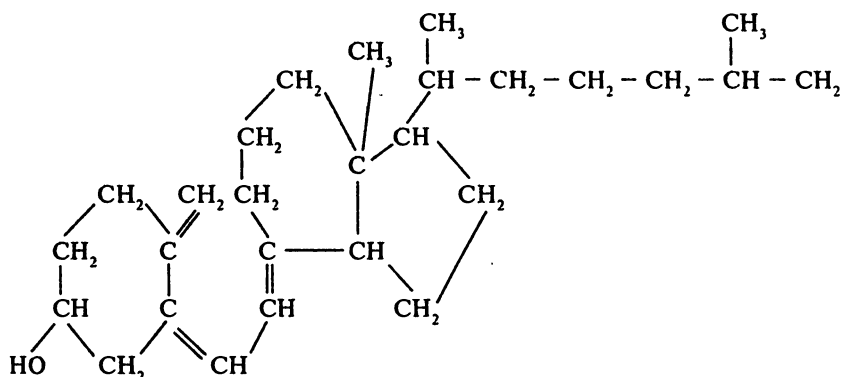


Химики, занимавшиеся витамином D, обнаружили, что его наличие в организме зависит от солнечного света. Еще в 1921 году исследователи, работавшие в группе Макколама (который первым доказал существование витаминов), показали, что у крыс, находящихся на рационе, дефицитном по витамину D, но содержащихся на солнечном свете, рахит не развивается. Биохимики предположили, что витамин D в организме образуется из провитамина благодаря энергии солнца. И поскольку витамин D растворялся в жирах, они стали искать его предшественник среди жирорастворимых компонентов пищи.

Расщепляя жиры на фракции и воздействуя на эти фракции солнечным светом, исследователи установили, что вещество, которое при действии света переходит в витамин D, является стероидом. Но какой это стероид? Они проверили холестерин и другие известные природные стероиды, но не обнаружили у них свойств витамина D. Позже, в 1926 году, американские биохимики Отто Розенхайм и Т.А. Вебстер обнаружили что под действием света в витамин D превращается очень близкое к нему по химической структуре вещество *эргостерол*, которое было выделено ранее из ржи, пораженной спорыньей. Одновременно и

независимо от них это же открытие сделал немецкий химик Адольф Виндаус. За эту работу, а также и за другие достижения в области изучения стероидов Виндаус в 1928 году был удостоен звания лауреата Нобелевской премии в области химии.

Однако вопрос о предшественнике витамина D в организме оставался открытым: дело в том, что эргостерол в организме животных не образуется. Со временем вещество, являющееся про-витамином D, было установлено. Им оказался *7-дегидрохолестерин*, который отличался от обычного холестерина отсутствием двух атомов водорода. Образующийся из него витамин D имеет следующее строение:



Одна из форм витамина D называется *кальциферол*, что в переводе с латинского означает «несущий кальций». Это название кальциферол получил за свою способность усиливать отложение кальция в костях.

Дефицит витаминов в организме может проявляться не только в виде острого заболевания. В 1922 году Герберт Маклин Эванс и К.Дж. Скотт, сотрудники Калифорнийского университета, установили, что причиной бесплодия у животных также является дефицит соответствующего витамина. Только в 1936 году группе Эванса удалось установить, что это витамин E, и выделить его. Новому витамину дали название *токоферол*, что в переводе с греческого означает «производить детей».

К сожалению, до сих пор неизвестно, насколько велика потребность человека в этом витамине, поскольку, безусловно, никто не решится вызвать у человека экспериментальное бесплодие, посадив его на диету, дефицитную по витамину E. А факт, что дефицит витамина E в рационе вызывает бесплодие у животных, вовсе не означает, что в природных условиях стерильность у них развивается именно по этой причине.

В 30-х годах XX столетия датский биохимик Карл Петер Хенрик Дам, экспериментируя на цыплятах, обнаружил существова-

ние витамина, который участвует в свертывании крови. Он назвал его *коагуляционным витамином*, впоследствии его стали называть сокращенно витамином К. Позже Эдвард Дойси с коллегами из университета в Сент-Луисе выделили этот витамин и определили его структуру. За открытие и установление структуры витамина К Даму и Дойси в 1943 году была присуждена Нобелевская премия по медицине и физиологии.

Витамин К принадлежит к числу витаминов, поступление которых в организм мало зависит от состава пищи. В норме наличие основного количества этого витамина обеспечивают бактерии, населяющие кишечник. Они производят его настолько много, что в кале этого витамина гораздо больше, чем в пище. В большей степени авитаминозу К подвержены новорожденные младенцы, что может проявиться у них в плохом свертывании крови и как следствие в кровотечениях. В некоторых родильных домах новорожденным первые три дня жизни, пока кишечные бактерии не заселили кишечник, вводят витамин К в виде инъекций или же врачи назначают его матери за несколько дней до родов. В последующие дни, когда бактерии заселятся в кишечник новорожденного, они ему еще доставят массу неприятностей, но, по крайней мере, тогда младенец будет защищен от кровотечений.

В действительности остается загадкой вопрос: может ли организм существовать в условиях полной изоляции от бактерий, или, другими словами, не зашел ли наш симбиоз с микроорганизмами так далеко, что без них мы попросту не можем жить? Некоторые исследователи пробовали выращивать животных в условиях абсолютной стерильности. Мыши, например, в таких условиях даже размножались. Было получено 12 поколений мышей, которым не были известны микробы. Такие опыты в 1928 году проводились в Нотрдамском университете.

На стыке 30-х и 40-х годов биохимии открыли еще несколько витаминов, принадлежащих к группе В, которым были даны названия *биотин*, *пантотеновая кислота*, *пиридоксин*, *фолиевая кислота* и *цианокобаламин*. Все эти витамины синтезируются кишечными бактериями; более того, они присутствуют в достаточных количествах во всех продуктах питания, так что для этих витаминов случаи авитаминоза неизвестны. Для того чтобы выяснить, какие симптомы возникают в случае дефицита этих витаминов, ученым приходилось даже содержать животных на специальной диете, искусственно лишенной этих витаминов, или вводить в диету *антивитамины*, которые бы нейтрализовали те витамины, которые образуются кишечными бактериями. (Антивитамины — это вещества, схожие по структуре с витаминами. В силу своей схожести они конкурентно ингибируют фермент, который использует данный витамин в качестве кофермента.)

Вскоре вслед за установлением структуры каждого витамина производился его синтез, но были случаи, когда синтез витами-

на даже предшествовал установлению его структуры. Например, группа ученых, возглавляемая Уильямсом, синтезировала тиамин в 1937 году, за три года до того, как была установлена его структура, а швейцарский биохимик, выходец из Польши, Тадеуш Рейхштейн и возглавляемая им группа химиков синтезировали аскорбиновую кислоту в 1933 году, несколько раньше того, как Кинг окончательно установил ее точную структуру. Еще один пример — витамин А, который был синтезирован в 1936 году независимо двумя группами химиков также незадолго до того, как была окончательно установлена его химическая структура.

Появление синтетических витаминов сделало возможным искусственную витаминизацию продуктов питания (первым витаминизировали молоко, это произошло еще в 1924 году), а также изготовление недорогих витаминных комплексов, которые можно было бы приобрести в аптеках. Потребность в дополнительном введении витаминов в ежедневный рацион зависит от многих факторов. Из всех витаминов наиболее часто проявляется недостаточность витамина D. Как правило, авитаминоз D возникает у маленьких детей, живущих в северных районах, где в зимнее время бывает мало солнечного света, и проявляется он в развитии у этих детей рахита. Для восполнения содержания этого витамина детям требуется пища, подвергавшаяся облучению солнечным светом или введению в нее добавок, содержащих витамин D. Но потребление витамина D, как, впрочем, и витамина А, требует строгого контроля, поскольку передозировка их также опасна.

Что касается витаминов группы В, то употребление в пищу обычных продуктов восполняет потребность в них в полной мере, поэтому у здорового человека нет нужды в дополнительном потреблении витаминов, принадлежащих к этой группе. То же самое можно сказать и о витамине С, содержание которого в пище в наше время, когда люди осознают роль витаминов в их жизни, не является проблемой (за исключением тех, кому не нравятся фрукты, ягоды и овощи, или тех, кто не может употреблять их регулярно).

Если говорить вообще, то столь широкое внедрение витаминных препаратов в нашу жизнь, обусловленное, главным образом, стараниями фармацевтических фирм, поскольку это приносит им баснословные барыши, не пошло людям во вред; во всяком случае, то, что нынешние американцы стали выше ростом и тяжелее по массе своих родителей и прародителей, в значительной мере произошло благодаря дополнительному введению в рацион витаминов.

Биохимикам, конечно, не терпелось узнать, каким образом витамины, присутствующие в столь малых количествах, играют такую важную роль в химических процессах, протекающих в организме.

Детальное изучение химии ферментов позволило найти ответ на этот вопрос. Исследователи, занимавшиеся химией белков, давно знали, что некоторые белки состоят не только из аминокислот, что в некоторых из них могут еще присутствовать простетические группы, как, например, гем в гемоглобине, который не является аминокислотой (см. главу 10). Как правило, простетические группы довольно прочно связаны с остальной частью молекулы. Что касается ферментов, то в некоторых случаях неаминокислотный фрагмент белковой молекулы бывает слабо связан с полипептидной цепью и может легко от нее отойти.

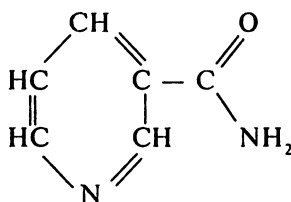
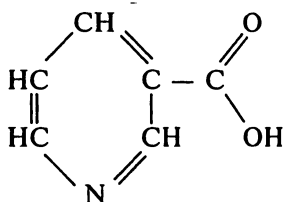
Этот факт в 1904 году впервые обнаружил Артур Харден (вскоре после этого он открыл фосфорсодержащие промежуточные метаболиты; см. главу 11). Харден работал с экстрактом дрожжей, которым он сбраживал сахар. Он вносил экстракт в мешочек, сделанный из полупроницаемой мембраны, и помещал этот мешочек в чистую воду. Молекулы небольшого размера, которые могут свободно проникать через поры мембраны, выходили в воду, а крупные молекулы белков не могли выйти через поры в силу своего размера, поэтому они оставались в мешочке. После завершения этой процедуры (она называется *диализ*) Харден обнаружил, что экстракт полностью потерял свою сбраживающую активность. Ни раствор внутри мешочка, ни вода, которая была снаружи, не сбраживали сахар. Но при соединении обеих жидкостей (той, что была внутри мешочка, и той, что была снаружи) активность дрожжевого экстракта восстанавливалась.

Получалось, что помимо крупной молекулы белка в состав фермента входила еще какая-то небольшая молекула, способная проникать через поры мембраны, — молекула *кофермента*. Кофермент был необходим для проявления активности фермента (можно сказать, что он был «лезвием» фермента).

Химики сразу же взялись за определение структуры помощника сбраживающего фермента (впрочем, и других коферментов тоже). Швейцарский химик, немец по происхождению, Ганс Карл Август Симон фон Эйлер-Чеплин первым достиг успеха в этом направлении. В результате он и Харден в 1929 году получили Нобелевскую премию в области химии.

Согласно результатам Эйлера-Чеплина, кофермент сбраживающего фермента дрожжей состоял из молекулы аденина, двух молекул рибозы, двух фосфатных групп и молекулы *никотинамида*, соединенных вместе. Последнее вещество, никотинамид, было впервые обнаружено в живых тканях, поэтому нет ничего удивительного в том, что интерес ученых сконцентрировался в большей степени на нем. (Это вещество получило такое название потому, что оно содержит аминогруппу, CONH_2 , и его можно легко получить из никотиновой кислоты. Никотиновая кислота по структуре очень схожа с содержащимся в табаке алкалоидом *никотином*, но диаметрально отличается от него тем, что

никотиновая кислота необходима для жизни, тогда как никотин является смертельным ядом). Формулы никотиновой кислоты и никотинамида таковы:



После установления Харденом структуры кофермента, он был сразу же переименован в *никотинамидадениндинуклеотид* (или сокращенно *НАД*): *никотинамид* — поскольку в его состав входит это вещество; *адениннуклеотид* — поскольку фрагмент молекулы кофермента представлен сочетанием аденина, рибозы и фосфата, характерным для нуклеотидов, из которых построены нуклеиновые кислоты; *ди* — поскольку таких фрагментов в коферменте два.

Вскоре был обнаружен другой кофермент, очень похожий на НАД и отличающийся от него лишь тем, что содержал не две фосфатные группы, а три. Ему дали название *никотинамидадениндинуклеотидфосфат* (сокращенно *НАДФ*). Оба эти вещества, НАД и НАДФ, широко распространены в организме и являются коферментами для многих ферментов, осуществляющих передачу атомов водорода с одного вещества на другое. (Название этих ферментов *дегидрогеназы*.) Коферменты НАД и НАДФ как раз и являются теми веществами, которые выполняют функцию переносчиков водорода, фермент лишь «выбирает» субстрат — то вещество, с которым требуется провести подобную операцию (для каждого субстрата существует своя дегидрогеназа). Поэтому для организма жизненно одинаково важны как фермент, так и кофермент, в случае дефицита одного из них замедляется процесс передачи водорода и, следовательно, прекращается утилизация энергии, заключенной в пищевых продуктах.

Как выяснилось, никотинамид в организме не образуется. Организм способен синтезировать все ферменты, все компоненты, из которых состоят коферменты НАД и НАДФ, за исключением никотинамида, поэтому никотинамид должен поступать в готовом виде (или, по крайней мере, в виде никотиновой кислоты) с пищей. В противном случае не будет происходить образования НАД и НАДФ, и тогда затормозятся контролируемые ими реакции переноса водорода.

Являются ли никотинамид или никотиновая кислота витамином? В свое время еще Фанк (который ввел термин *витамин*) выделил никотиновую кислоту из рисовой шелухи. Обнаружив, что никотиновая кислота не лечит бери-бери, он потерял к ней

интерес. Но когда выяснилось, что это вещество тесно связано с деятельностью ферментов, биохимии из Висконсинского университета под руководством Конрада Арнольда Элвейема попробовали применить никотиновую кислоту для лечения другой болезни, связанной с неполноценным питанием, — пеллагры.

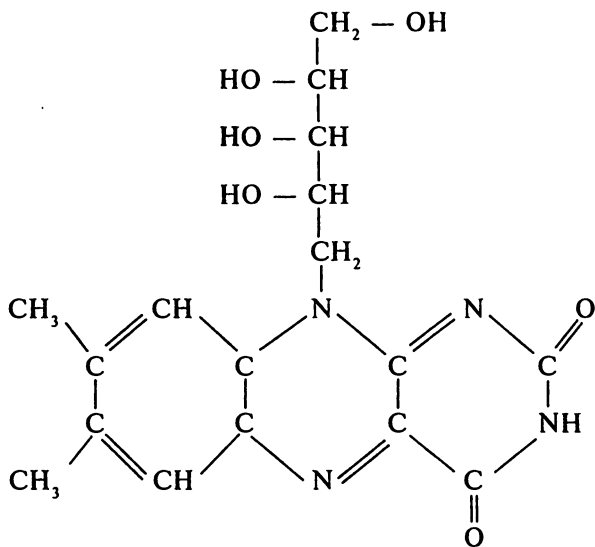
В 20-х годах XX века американский врач Джозеф Голдбергер занимался изучением пеллагры (иногда эту болезнь называли *итальянской проказой*) — заболевания, распространенного в то время в областях, удаленных от побережья; в южных штатах Америки в начале века распространение пеллагры носило даже характер эпидемии. Наиболее характерными симптомами пеллагры являются сухая, покрытая чешуйками кожа, диарея и воспаленный язык, иногда при этом заболевании наблюдаются психические расстройства. Голдбергер обратил внимание на то, что пеллагра, как правило, поражала людей, питавшихся преимущественно кукурузной мукой, и обходила семьи, в которых содержали коров молочных пород. Он начал экспериментировать с искусственными рационами; объектами исследования служили животные и заключенные тюрем, среди которых пеллагра была очень распространена. Голдберг добился некоторых успехов, сумев вызвать у собак аналогичное пеллагре заболевание, характеризующееся почернением языка, и затем вылечить его введением в рацион экстракта дрожжей. У заключенных после введения в их рацион молока также исчезали симптомы пеллагры. Голдбергер решил, что в дрожжах и молоке содержится витамин, предупреждающий развитие пеллагры, он назвал его витамином РР (от «pellagra-preventive», или «предупреждающий пеллагру»).

Итак, Элвейем решил испытать никотиновую кислоту для лечения пеллагры. Он добавлял небольшие дозы этого вещества в рацион собакам, страдающим почернением языка, и наблюдал при этом улучшение их состояния. Увеличение дозы никотиновой кислоты приводило к полному выздоровлению животных. Значит, предположение было правильным: никотиновая кислота — это витамин, тот самый витамин РР, существование которого предполагал Голдбергер.

Однако Ассоциацию американских врачей беспокоил тот факт, что из-за схожести названий никотиновой кислоты и никотина общественность может решить, что табак является источником витаминов, поэтому было настоятельно рекомендовано не использовать названия «никотиновая кислота» и «никотинамид», вместо них были предложены другие — *ниацин* (сокращение от «*nicotinic acid*», так по-английски называется никотиновая кислота) и соответственно *ниацинамид*. (В России используются исходные названия *никотиновая кислота*, или витамин РР, и *никотинамид*, также применяемый в качестве витамина РР. — *Примеч. пер.*)

Постепенно становилось ясно, что витамины чаще всего являются частями молекул коферментов, причем эти части не син-

тезируются в организмах животных и людей, поэтому они должны поступать извне. В 1932 году Варбург открыл кофермент желтого цвета, который также принимал участие в переносе атомов водорода. Впоследствии австрийский химик Рихард Кун выделил витамин B_2 , который был желтого цвета, и установил его структуру.



Углеродная цепь, присоединенная к среднему кольцу, похожа на молекулу вещества, носящего название *рибитол*, поэтому витамин В₂ получил название *рибофлавин* («флавин» происходит от латинского слова, означающего «желтый»). Анализ спектра поглощения рибофлавина показал, что он очень похож на спектр поглощения желтого кофермента Варбурга. В 1935 году Кун обнаружил, что кофермент Варбурга обладает также активностью рибофлавина. В том же году шведский биохимик Хуго Теорелл установил структуру желтого кофермента Варбурга: это был рибофлавин с присоединенной к нему фосфатной группой. (Позднее, в 1954 году, был найден второй, более сложный по структуре кофермент, в состав молекулы которого входил рибофлавин.)

За проделанную работу Кун в 1938 году был удостоен Нобелевской премии по химии, Теореллу в 1955 году была присуждена такая же премия, только по медицине и физиологии. Куну, однако, не повезло: премию ему присудили вскоре после того, как Австрия была захвачена фашистской Германией, и правящий режим вынудил его отказаться от награды.

Синтезировал рибофлавин швейцарский химик Пауль Каррер; за это, а также за исследование других витаминов ему в 1937 году

была присуждена Нобелевская премия в области химии. (Солауреатом этой премии был английский химик Уолтер Норман Хауорт, который получил ее за исследование структуры углеводов.)

В 1937 году немецкие биохимики К. Ломанн и П. Шустер открыли важный кофермент, в который как часть структуры входил тиамин. В течение 40-х годов было обнаружено много примеров связи витаминов группы В с коферментами. Пиридоксин, пантотеновая кислота, фолиевая кислота, биотин — каждое из этих соединений было связано с одной или несколькими группами ферментов.

Пример витаминов прекрасно иллюстрирует экономичность организма человека. Клетки освободили себя от обязательства синтезировать витамины, поскольку те выполняют только одну специальную функцию, и взяли на себя оправданный риск получать витамины вместе с пищей. Известно большое количество других жизненно важных веществ, которые необходимы организму в мизерных количествах, но организм их тем не менее производит сам. Например, АТФ синтезируется в общем-то из тех же самых блоков, из которых синтезируются и столь необходимые для жизнедеятельности нуклеиновые кислоты. Трудно представить, чтобы какой-либо организм утратил фермент, необходимый для синтеза нуклеиновых кислот, и при этом бы выжил, потому что нуклеиновые кислоты необходимы организму в столь больших количествах, что вряд ли он положился бы на питание как на основной способ поставки блоков, необходимых для постройки молекул нуклеиновых кислот. И способность организма синтезировать нуклеиновые кислоты автоматически придает ему способность синтезировать АТФ. Следовательно, все известные организмы способны сами производить АТФ, и вряд ли найдется когда-нибудь такой, который не будет способен выполнять эту функцию.

Синтезировать такие специальные вещества, как витамины, было бы все равно что на автомобилестроительном заводе установить рядом с конвейерной линией специальные машины для производства гаек и болтов. Гораздо проще получать эти самые гайки и болты от поставщика без ущерба для линии по сборке автомобилей. Точно так же организму проще получать витамины извне с пищей, экономя при этом место и материалы, необходимые для их синтеза.

Витамины иллюстрируют и другой важный аспект жизни. Насколько известно, витамины группы В необходимы всем живым клеткам. Коферменты — незаменимая часть клеточного механизма любой живой клетки, будь то растительная, животная или бактериальная. Если клетка живет и растет, она должна или получать эти витамины с пищей, или производить их сама. Столь универсальная потребность всех живых клеток в одной и той же группе веществ является впечатляющей деталью, ярко свидетельствующей

щей о единстве жизни и о возможном происхождении ее из единого первоначального источника, зародившегося в первозданном океане.

Если роль витаминов группы В хорошо известна, то над выяснением химических функций других витаминов следует еще хорошенько поработать. Значительные успехи были достигнуты в изучении только одного из них — витамина А.

В 1925 году американские физиологи Л.С. Фридеричиа и Е. Холм обнаружили, что содержание крыс на диете, дефицитной по витамину А, приводит к появлению у животных затруднений при выполнении задач при тусклом освещении. Изучение сетчатой оболочки глаз этих животных показало, что в ней недостает вещества, называемого *зрительным пигментом*.

В сетчатой оболочке глаз есть два типа клеток: так называемые *палочки* и *колбочки*. В палочках как раз и находится зрительный фермент, и этот тип клеток специализируется на видении в тусклом свете. Поэтому недостаток зрительного пигмента ухудшает только зрение при плохой освещенности и приводит к развитию заболевания, называемого *куриной слепотой*.

В 1938 году биолог из Гарвардского университета Джордж Уальд начал изучать химические аспекты зрения при тусклом освещении. Он обнаружил, что свет вызывает разделение зрительного пигмента, или *родопсина*, на два компонента: белок *опсин* и небелковую часть *ретиаль*. Как оказалось, ретиаль по структуре очень похож на витамин А.

В темноте ретиаль всегда соединяется с белком опсином, при этом образуется родопсин. В силу нестабильности ретиналя небольшая его часть, после отделения на свету от опсина, разрушается. Однако количество ретиналя пополняется за счет витамина А, который превращается в ретиаль после удаления из его молекулы двух атомов водорода, происходящего при помощи фермента. Таким образом, витамин А является постоянным резервом ретиналя. Дефицит витамина А в диете приводит к дефициту ретиналя и соответственно к уменьшению количества родопсина в палочках, что и является причиной куриной слепоты. За серию работ, посвященных биохимии зрения, Уальд в 1967 году стал лауреатом Нобелевской премии в области медицины и физиологии.

Витамин А должен выполнять и другие функции, поскольку его недостаток вызывает сухость слизистых оболочек, а также ряд других симптомов, которые никак не связаны с сетчатой оболочкой глаза. Но к сожалению, эти функции витамина А еще не известны.

То же самое можно сказать и о витаминах С, D, Е и К. В 1970 году Лайнус Полинг произвел сенсацию своим сообщением о том, что большие дозы витамина С способны снизить частоту возникнове-

ния простудных заболеваний. Публика буквально смела запасы этого витамина с аптечных полок. Дальнейшие исследования показали правильность утверждения Полинга.

Минералы

Если сравнивать живую материю с неживой, то нет ничего удивительного, если кто-то придет к заключению, что материал, из которого построена живая ткань, является необычным и отличается от того, из чего состоит неживой мир. Конечно же и белки, и нуклеиновые кислоты — это и есть необычные материалы, но все-таки приходится мириться с тем, что человеческое тело состоит из тех же элементов, из которых состоит и грязь под ногами, и что полный набор этих элементов можно приобрести в любом магазине, где продают химические реактивы.

Еще в начале XIX века, когда химики только начали заниматься анализом органических веществ, было известно, что живая ткань состоит из углерода, кислорода, водорода и азота. На эти четыре элемента приходится 96 процентов массы человеческого тела. Плюс к тому в организме содержится немного серы. При сжигании останков ткани эти пять элементов улетучиваются, но остается горстка белой золы. Эта зола и является набором минералов, содержащихся в организме.

Первое, что можно в этой золе обнаружить, — это обыкновенная поваренная соль — хлористый натрий. Поваренная соль не является такой же приправой, как базилик, или розмарин, или тимьян, которые улучшают вкус пищи, но которые вовсе не обязательно в нее добавлять. Поваренная соль для организма — это вопрос жизни и смерти. Все мы знаем вкус собственной крови: она соленая. Соль является основным компонентом организма. Травоядные животные, которые, в отличие от людей, не искушены опытом приготовления пищи, часто страдают оттого, что не могут досыта нализаться соли, ведь в их кормах, состоящих из травы и листьев, ее часто недостает.

Но хлористым натрием дело не ограничивается. Еще в середине XVIII века шведский химик Иоганн Готтлиб Гаан показал, что кости человека состоят преимущественно из фосфата кальция, а итальянский ученый В. Менджини установил, что в крови содержится железо. В 1847 году Юстус фон Либих обнаружил в тканях магний и калий. Таким образом, к середине XIX века было известно, что в состав организма помимо натрия и хлора входят кальций, фосфор, калий, магний и железо. И не просто входят — в организме эти элементы столь же активны, как и будучи включенными в состав органических соединений.

Наиболее явной была роль железа. Если исключить железо из диеты, то в крови вскоре уменьшится содержание гемоглобина и

она теряет способность переносить кислород от легких к тканям. Это состояние известно как *железодефицитная анемия*. При дефиците железа в организме человек становится бледным, так как в крови у него снижается содержание красного пигмента гемоглобина, а вследствие недостаточного содержания кислорода в тканях он быстро устает.

В 1882 году английский врач Сидни Рингер обнаружил, что сердце лягушки продолжает жить и сокращаться после извлечения его из тела животного и помещения в специальный раствор (который до сегодняшнего дня называют *раствором Рингера*). Раствор Рингера содержал помимо всего прочего натрий, калий и кальций в тех же соотношениях, в которых они находятся в крови лягушки. Каждый из указанных минералов, как выяснил Рингер, был необходим для функционирования мышцы. Но избыток кальция вызывал остановку сердца в состоянии сокращения сердечной мышцы (*кальциевое сжатие*), избыток калия также вызывал остановку сердца, только в состоянии расслабления (*калиевое угнетение*). Более того, кальций, как оказалось, был необходим для свертывания крови. В отсутствие кальция кровь не сворачивалась, и ни один другой элемент не мог инициировать образование кровяного сгустка.

Как выяснилось позже, наиболее важным минералом, участвующим в химических реакциях, протекающих в организме, оказался фосфор (см. главу 12).

Кальций, основной компонент костей, составляет 2 процента массы тела человека, фосфор — 1 процент. В еще меньших количествах содержатся остальные элементы. Из тех, что обозначены выше, меньше всего в организме содержится железа — всего 0,004 процента (это означает, что в тканях взрослого мужчины массой 70 килограммов присутствует около 2,8 грамма железа). Список элементов, входящих в состав человеческого тела, не ограничивается только теми минералами, которые перечислены выше. Есть еще и много других, присутствующих в столь малых количествах, что их едва удастся выявить, но которые не менее важны для функционирования организма.

Однако далеко не каждый элемент, найденный в организме, необходим для его жизнедеятельности: его появление может быть результатом загрязнения воды, пищи, атмосферы. Ведь человек потребляет с пищей, как минимум, следовые количества всех элементов, содержащихся в его окружении, поэтому и ткани его тела могут содержать эти элементы. Такие элементы, как кремний или алюминий, не участвуют в процессах жизнедеятельности, а вот цинк организму крайне необходим. Как же отличить, какие минералы, присутствующие в организме, действительно нужны для его функционирования, а какие появились в результате загрязнения окружающей среды?

Лучший способ показать необходимость элемента — это доказать, что какой-либо фермент содержит в качестве компонента сле-

довые количества этого элемента (элементы, необходимые для жизнедеятельности организма и содержащиеся в нем в следовых количествах, называют *микроэлементами*). Почему именно фермент? Да потому, что трудно придумать другой способ воздействия на функционирование организма столь малых количеств какого-либо вещества. В 1939 году англичане Дэвид Кейлин и Т. Манн показали, что цинк является важной и неотъемлемой частью фермента *карбоангидразы*. Этот фермент необходим организму, так как он способствует образованию из углекислого газа угольной кислоты; тем самым карбоангидраза, с одной стороны, регулирует содержание углекислого газа в организме и, с другой, преобразует продукты распада в полезные для организма вещества. Теоретически следовало, что цинк необходим для жизнедеятельности, и эксперименты показали, что это действительно так. Крысы, содержащиеся на рационе, в котором отсутствовал цинк, начинали отставать в росте, у них вылезала шерсть, шелушилась кожа, продолжительность их жизни укорачивалась, как и при дефиците витаминов.

Таким же образом было показано, что для организмов животных необходимы медь, марганец, кобальт и молибден. Их дефицит вызывает развитие авитаминозов. Последним из незаменимых микроэлементов был обнаружен молибден (в 1954 году). Этот элемент является составной частью фермента *ксантиноксидазы*. Важность молибдена была обнаружена впервые лет на 10 раньше, когда ученые обнаружили, что растения плохо растут на почвах, в которых недостает этого элемента. Вероятно, молибден является кофактором некоторых ферментов населяющих почву микроорганизмов, которые утилизируют азот воздуха и таким образом переводят его в азотсодержащие вещества. Растения нуждаются в помощи таких микроорганизмов, поскольку сами не могут усваивать азот из воздуха. (Это всего лишь один из огромного числа примеров тесной интеграции всех форм жизни на нашей планете. Живой мир — это длинная переплетающаяся цепь, которая может легко распасться, если сломать хотя бы одно из ее звеньев.)

НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ЖИЗНИ МИНЕРАЛЫ

Натрий (Na)	Цинк (Zn)
Калий (K)	Медь (Cu)
Кальций (Ca)	Марганец (Mn)
Фосфор (P)	Кобальт (Co)
Хлор (Cl)	Молибден (Mo)
Магний (Mg)	Йод (I)
Железо (Fe)	

Однако не все микроэлементы являются необходимыми для жизни. Бор, скорее всего, необходим в микроколичествах толь-

ко растениям; животный мир, по всей видимости, без него вполне может обойтись. Некоторые оболочники, живущие в морях, накапливают в себе ванадий, который у них входит в состав веществ, переносящих кислород, другие же животные нуждаются в ванадии по иным причинам.

Относительно недавно ученым стало ясно, что на Земле существуют регионы, в которых в почве недостает микроэлементов, — эдакие своеобразные «микроэлементные пустыни» (по аналогии с обычной пустыней, в которой недостает воды). Как правило, дефицит воды в почве сопровождается и дефицитом микроэлементов, хотя и не всегда. В Австралии ученые-почвоведы обнаружили, что 30 грамм молибдена (в виде подходящей для почвы соли) достаточно, чтобы значительно повысить урожайность на целых 8 гектарах земли, обедненной по этому элементу. Однако дефицит микроэлементов в почве — проблема не только Австралии. Обследование сельскохозяйственных угодий в США, проведенное в 1960 году, выявило, что в 41 штате в фермерских землях недостает бора, в 29 штатах — цинка, в 21 штате — молибдена. Причем, что чрезвычайно важно, элемент должен содержаться в почве в определенном количестве. Слишком большое его содержание столь же плохо, сколь и слишком малое, а некоторые элементы, которые являются в микроколичествах необходимыми для жизни, при большом поступлении их в организм могут вызвать отравление (например, медь).

Установление факта, что и почва нуждается в микроэлементах, позволило по-новому отнестись к стародавней традиции удобрять землю. Еще относительно недавно в качестве удобрения использовались исключительно экскременты сельскохозяйственных животных — навоз, который восполнял в почве запасы азота и фосфора. Однако применение навоза в качестве удобрения имеет некоторые недостатки: имеются в виду его запах и микроорганизмы, которые могут стать источником инфекции. Замена навоза на неорганические удобрения, не содержащие микрофлоры и не имеющие запаха, во многом произошла благодаря исследованиям Юстуса фон Либиха, проведенным еще в XIX веке.

История изучения роли микроэлементов в функционировании организма имеет немало драматических эпизодов. Один из них касается кобальта, дефицит которого приводит к развитию злокачественной анемии, неизлечимого когда-то заболевания, приводившего к смертельному исходу.

В начале 20-х годов XX столетия патолог из Рочестерского университета Джордж Хойт Уипл занимался экспериментальным изучением влияния состава пищи на образование гемоглобина в крови. Он делал собакам кровопускание, чтобы вызвать у них анемию, а затем, содержа их на различных рационах, следил, ка-

кой из них скорее восстановит уровень гемоглобина в крови. Целью Уипла являлось вовсе не изучение злокачественной анемии или какой-либо анемии вообще, его интересовали желчные пигменты — вещества, которые образуются в организме из гемоглобина. Исследователь вскоре обнаружил, что продуктом, наиболее быстро восстанавливающим содержание гемоглобина в крови, является печень.

В 1926 году два бостонских врача Джордж Ричард Минот и Уильям Пэрри Мерфи, обсудив результаты экспериментов Уипла, решили попробовать печенью лечить пациентов, страдающих злокачественной анемией. Результаты превзошли все ожидания. Неизлечимая ранее болезнь отступала на то время, пока больные потребляли в пищу достаточно большое количество печени. За открытие метода лечения злокачественной анемии Уиплу, Миноту и Мерфи в 1934 году была присуждена Нобелевская премия в области физиологии и медицины.

К сожалению, печень, пусть даже вкусно приготовленная: поджаренная, порубленная, смешанная с яйцами, луком и жиром цыплят, надоедает, если ее есть постоянно. (Многим пациентам, по крайней мере, казалось, что лучше уж страдать от болезни, чем есть каждый день блюда из печени.) Поэтому биохимики занялись тем, что начали искать лекарственное начало, содержащееся в печени, и в 1930 году Эдвин Джозеф Кон с группой сотрудников, работавшие в Гарвардской высшей медицинской школе, приготовили из печени концентрат, активность которого в 1000 раз превышала противоанемическую активность самой печени. Однако для выделения действующего фактора требовалась дальнейшая очистка этого концентрата. Ученым повезло, химики из «Мерк лаборотриз» в начале 40-х годов обнаружили интересный факт: концентрат из печени обладал способностью ускорять рост некоторых бактерий. Это дало возможность исследователям оценивать активность получаемых из печени препаратов; теперь они могли, разделяя концентрат на фракции, быстро исследовать активность каждой из них. Поскольку реакция бактерий на препарат, полученный из печени, была во многом схожей с их реакцией на витамины группы В тиамин или, скажем, рибофлавин — у исследователей были все основания полагать, что вещество, которое они хотят выделить, принадлежит к витаминам из группы В. Они назвали его *витамином В₁₂*.

В 1948 году Эрнест Лестер Смит в Англии и Карл Август Фолкерс из «Мерк лаборотриз» независимо, используя хроматографию для разделения печеночного концентрата на фракции и бактериальный тест для оценки активности фракций, смогли получить чистый препарат витамина В₁₂. Новый представитель витаминов группы В оказался веществом красного цвета, поэтому оба ученых предположили, что в его состав входит кобальт. К тому времени уже было известно, что дефицит кобальта в раци-

оне крупного рогатого скота и овец вызывает у животных тяжелую анемию. Чтобы убедиться в правильности своей догадки, каждый из ученых сжег полученное вещество и произвел анализ оставшейся золы. Конечно же они оба обнаружили в золе кобальт. Активному началу, содержащемуся в печени, дали название *цианокобаламин*. До сих пор он является единственным кобальтсодержащим веществом, обнаруженным в организме.

Разрушая связи в молекуле цианокобаламина и исследуя затем ее фрагменты, химики поняли, что структура этого соединения весьма сложна. Вначале они смогли установить лишь эмпирическую формулу этого вещества: $C_{63}H_{88}O_{14}N_{14}P\text{Co}$. И только позднее британский химик Дороти Кроуфут Ходжкин, используя метод рентгеноструктурного анализа, полностью определила структуру цианокобаламина. На основании дифракции рентгеновских лучей кристаллами этого соединения она составила картину распределения электронных плотностей в молекуле вещества, то есть выявила зоны с большой и малой вероятностями нахождения в них электрона. Если соединить линиями зоны с равной вероятностью нахождения в них электрона, то получится рисунок скелета молекулы, на основании чего можно судить о ее форме в целом.

Сделать это не так просто, как может показаться. Сложные органические молекулы способны вызывать рассеяние рентгеновских лучей. Математические операции, необходимые для того, чтобы на основании рассеяния можно было судить об электронной плотности, чрезвычайно трудоемки. В 1944 году для того, чтобы установить структурную формулу пенициллина, пришлось прибегнуть к помощи электронной вычислительной машины. Структура витамина B_{12} гораздо более сложная, чем структура пенициллина, и мисс Ходжкин, воспользовавшись услугами Национального бюро стандартов, где находилась самая мощная по тем временам ЭВМ, провела долгую и кропотливую работу, которая со временем была высоко оценена: в 1964 году исследовательница была удостоена Нобелевской премии в области химии.

Как оказалось, молекула витамина B_{12} , или цианокобаламина, представляет собой несимметричную порфириновую структуру, в которой отсутствует один из углеродных мостиков, соединяющих пиррольные кольца, и в которой усложнены боковые цепи, отходящие от пиррольных колец. Молекула витамина B_{12} напоминает несколько упрощенную молекулу гема, однако между ними есть существенное различие: в геме в центре порфиринового кольца расположен атом железа, а в цианокобаламине — атом кобальта.

Витамин B_{12} при введении его больным анемией в кровь активен в очень малых дозах. Организму достаточно получать его в количестве, не превышающем $1/1000$ части от рекомендуемых количеств других витаминов, принадлежащих к группе В. Поэтому в рационе человека, каким бы он ни был, всегда содержится достаточное количество витамина B_{12} . А если его в пище недостает,

кишечные бактерии с лихвой восполняют дефицит витамина. Но почему тогда возникает злокачественная анемия?

Как представляется на сегодняшний день, у лиц, страдающих этой формой анемии, витамин B_{12} плохо всасывается в пищеварительном тракте. Получается так, что в кишечнике этих больных содержится большое количество витамина, от дефицита которого они погибают. При употреблении в пищу печени, в которой витамина B_{12} содержится очень много, какая-то его часть все-таки всасывается стенкой кишечника, и этого оказывается вполне достаточно для того, чтобы организм продолжал жить. Но для полного удовлетворения потребности таких больных в витамине B_{12} с пищей его нужно вводить в количестве в 100 раз больше того, что можно ввести непосредственно в кровь в виде инъекции.

Вероятнее всего, в функционировании желудочно-кишечного тракта больных злокачественной анемией существуют какие-то нарушения, которые препятствуют прохождению витамина через стенку кишечника. В 1929 году благодаря исследованиям американского врача Уильяма Босворта Кастла, было установлено, что ответ на эту загадку кроется в желудочном соке — именно в нем у здоровых людей содержится некое вещество, которое и способствует всасыванию витамина B_{12} в кишечнике. Кастл назвал это вещество *внутренним фактором*. В 1954 году вещество, которое способствует всасыванию витамина B_{12} , — тот самый внутренний фактор Кастла — исследователи обнаружили в содержимом желудка у животных. (Скорее всего, у больных злокачественной анемией в желудочно-кишечном тракте отсутствует именно это вещество, являющееся гликопротеином. — *Примеч. пер.*) Цианокобаламин после смешивания его с внутренним фактором, полученным от животных, хорошо всасывался в желудочно-кишечном тракте больных людей. А вот каким образом этот внутренний фактор способствует всасыванию витамина B_{12} — до сих пор неизвестно.

Однако вернемся к микроэлементам. Первый открытый микроэлемент не был металлом. Это был йод — элемент, похожий по своим свойствам на хлор. История его открытия связана со щитовидной железой.

В 1896 году немецкий биохимик Эвген Бауман обнаружил, что щитовидная железа отличается от всех остальных органов человеческого тела наличием в ней йода. В 1905 году врач Дэвид Мерайн, практиковавший в то время в Кливленде, был изумлен тем, насколько распространен был зоб среди людей, населявших эту местность. Таких больных можно было сразу распознать: их щитовидная железа достигала иногда невероятных размеров, они были или вялые и апатичные, или, наоборот, нервные, не в меру

активные, с глазами навывкате. За разработку метода хирургического лечения токсического зоба, которое приносило больным значительное облегчение, швейцарский врач Эмил Теодор Кохер в 1909 году получил Нобелевскую премию в области медицины и физиологии.

Мерайну не давали покоя вопросы: во-первых, неужели нельзя лечить зоб более щадящим и быстрым способом с помощью лекарств, не прибегая к помощи хирургического ножа, и, во-вторых, может быть, увеличение щитовидной железы является результатом дефицита в организме йода, элемента, характерного для этого органа? Ведь Кливленд расположен в глубине материка, вдаль от океана, поэтому вполне возможно, что в этой местности не содержится достаточно йода, этот элемент в избытке находится в почвах океанических побережий, кроме того, люди, живущие там, получают йод вместе с морепродуктами, которые постоянно и в больших количествах входят в их рацион. Может быть, недостаточное содержание йода и широкое распространение зоба в окрестностях Кливленда тесно связаны между собой?

Мерайн, прежде чем испробовать свой способ лечения йодом на больных, страдающих зобом, начал экспериментировать на животных, и после 10 лет исследовательской работы он решил, что накопил достаточное количество убедительных доказательств правильности своей гипотезы. Пролечив йодом больных, он в общем-то не удивился, обнаружив, что его метод дает положительные результаты. После этого Мерайн предложил добавлять вещества, содержащие йод, в поваренную соль и в воду, которой снабжаются города, расположенные в удаленных от океанов местностях, где в почве недостает йода. Однако его предложение натолкнулось на сильное противостояние, поэтому понадобилось потратить еще 10 лет на то, чтобы его концепция йодирования поваренной соли и воды была повсеместно принята. После того как добавление йода в пищу стало обычной процедурой, проблема эндемического зоба потеряла свою значимость для человечества.

В 60-х годах XX века американские исследователи (и общественность) были увлечены изучением и обсуждением подобной проблемы: стоит ли фторировать воду в целях предупреждения кариеса (заболевания зубов)? Эта проблема долгое время была предметом острых дискуссий на общественной и политической аренах. И на этот раз оппозиция выступила более жестко и ее действия оказались более успешными, чем в случае дискуссии по поводу йодирования соли. Один из контраргументов был тот, что полости в зубах — это гораздо менее серьезное заболевание, чем уродующий человека эндемический зоб.

Еще в первой четверти XX века американские зубные врачи обратили внимание на тот факт, что зубы у жителей некоторых штатов (например, Арканзаса) темнее, чем обычно, — их эмаль

покрыта темными крапинками. Как оказалось позже, появление крапчатости на эмали зубов является следствием того, что в этих районах содержание фтористых соединений (фторидов) в природной питьевой воде существенно превышает норму. Однако повышенное содержание фтора имело и положительное воздействие — у жителей этих районов частота заболеваемости кариесом в среднем была ниже, чем по стране. Например, у мальчиков-подростков, живущих в окрестностях города Куинси, где фтора в воде практически нет, случаев заболевания кариесом зафиксировано в 3 раза больше, чем у мальчиков того же возраста, живущих в Гейлсберге, штат Иллинойс, где питьевая вода содержит фториды.

Болезни зубов — дело серьезное, в этом со мной согласится каждый, кто хоть раз страдал зубной болью. Ежегодно граждане Соединенных Штатов получают от дантистов счета на общую сумму более чем в полтора миллиарда долларов. Две трети американцев в возрасте 35 лет недосчитывают хотя бы одного из своих зубов. Проведя широкомасштабное изучение этой проблемы, исследователи пришли к выводу, что фторирование воды безопасно для человека и что оно действительно способно снизить частоту заболеваемости кариесом. Они показали, что фториды в разведении один к миллиону (1 грамм фторида на 1 кубометр питьевой воды. — *Примеч. пер.*) обойдутся американцу в 5—10 центов в год, причем такое содержание фтора не вызовет появления темных пятнышек на эмали зубов, но окажет выраженное профилактическое действие. Разведение один к миллиону было даже рекомендовано как стандартное для фторирования воды, предназначенной для бытового использования.

Противокариесное действие фтора наиболее эффективно сказывается во время формирования зубов, а это значит — у детей. При попадании в организм с водой фтор в небольших количествах включается в зубную ткань, что делает ее неподходящей средой для размножения бактерий. (Применение малых доз фторидов в виде таблеток или добавление их в зубную пасту также имеет выраженный профилактический эффект.)

Результаты исследований, проводимых четверть века, позволили американским дантистам с уверенностью утверждать, что заболеваемость кариесом может быть снижена в 3 раза и что это будет стоить каждому американцу всего лишь несколько центов в год. Фторирование воды сохранит в кармане американских граждан по крайней мере миллиард долларов, не говоря уже о том, что избавит их от зубной боли и потери собственных зубов, которых ни за какие деньги не купишь. Американские организации дантистов и врачей, государственные органы охраны здоровья рекомендовали фторировать воду, предназначенную для использования в быту. Но все же в сфере политики число сторонников фторирования воды значительно поубавилось. Национальный комитет по борьбе с фторированием создавал одну об-

ественную организацию за другой для того, чтобы провалить это начинание или аннулировать его в тех местах, где оно уже начало претворяться в жизнь.

Наибольшей популярностью у противников фторирования воды пользовались два контраргумента. Первое — это то, что фторсодержащие вещества токсичны для организма. Это действительно так, но при использовании фтора в дозах, значительно превышающих те, которые предлагались для обработки воды. Второе — это то, что фторирование воды, по сути, якобы является принудительным лечением, а это уже посягательство на свободу личности. Может быть, это и так, вопрос спорный, но разве свобода одних членов общества в действиях, направленных на то, чтобы проигнорировать опасность, которой подвергаются остальные члены общества и которую можно предотвратить, есть проявление истинной свободы? Если фторирование воды можно считать принудительным лечением, то почему тогда не возникает споров по поводу хлорирования воды, йодирования соли и, коль на то пошло, всех прививок, включая и вакцинацию против оспы, широко распространенную во всем цивилизованном мире.

Гормоны

Ферменты, витамины, микроэлементы — сколь действенны эти вещества! Присутствуя в организме в ничтожно малых количествах, они обеспечивают его нормальное функционирование. Однако существует еще и четвертая группа веществ, в известной степени еще более активных. Они регулируют все процессы в организме — можно сказать, ведут весь спектакль. В одних ситуациях, подобно основному рубильнику, они способны «включить» все органы, в других — наоборот, притормозить их деятельность.

На стыке XIX и XX веков два английских физиолога Уильям Мэддлок Бэйлис и Эрнест Генри Старлинг, занимаясь вопросами, связанными с функционированием желудочно-кишечного тракта, обнаружили интересное явление: в тот момент, когда пища попадает из желудка в тонкий кишечник, из железы, расположенной за желудком, — ее называют *поджелудочной железой* — в начальный отдел кишечника начинает выделяться пищеварительный сок. Исследователи задались вопросом: что является сигналом для поджелудочной железы, как она «узнает», что именно в этот момент нужно выделять сок? Первым объяснением, которое приходило в голову, было то, что, возможно, от начального отдела кишечника к поджелудочной железе по нервным волокнам передается сигнал (в то время уже была известна роль нервной системы как средства сообщения между органами). Можно было предположить, что при переходе пищи из желудка в кишечник происходит раздражение нервных окончаний, расположенных в стенке кишечника, и сигнал

от этих окончаний через головной или спинной мозг передается поджелудочной железе.

Для того чтобы проверить правильность своего предположения, Бэйлис и Старлинг перерезали все нервные волокна, которые подходили к железе. И что оказалось? Поджелудочная железа по-прежнему начинала выделять сок как раз в тот момент, когда пища попадала в кишечник.

Озадаченные экспериментаторы занялись поисками альтернативной системы, которая, наряду с нервной, осуществляла бы связь между органами. В 1902 году они обнаружили, что кишечник и поджелудочная железа могут общаться при помощи *химического посредника* — вещества, которое секретируется (выделяется) стенкой кишечника. При введении этого вещества в кровь животным их поджелудочная железа начинала выделять пищеварительный сок независимо от того, была ли в желудке или кишечнике пища. Это наблюдение позволило Бэйлису и Старлингу прийти к выводу, что пища, попав в кишечник, стимулирует образование в нем вещества, которое через кровь попадает в поджелудочную железу и побуждает ее к действию — та начинает выделять сок. Это вещество, секретируемое стенкой кишечника, исследователи так и назвали — *секретин*, а веществам, которые подобно секретину выделяются в кровь и служат средством общения одних органов с другими, они дали общее название *гормоны* («гормон» в переводе с греческого означает «побуждаю к действию»). Сегодня известно, что секретин — это маленькая белковая молекула.

Несколькими годами раньше физиологи обнаружили, что экстракт надпочечников (небольшие парные органы, расположенные над почками) при введении его в организм способен вызывать повышение кровяного давления. В 1901 году японский химик Йокихи Такаmine, работавший в то время в Соединенных Штатах, выделил из надпочечников то вещество, которое вызывало повышение давления крови. Ему было дано название *адреналин* (по-английски надпочечник — «adrenal». — *Примеч. пер.*). Позже это название стало торговым, а физиологи стали использовать другое название — *эпинефрин*. По химической структуре адреналин похож на аминокислоту тирозин, из которой он и синтезируется в организме.

Адреналин — это тоже гормон. Впоследствии физиологи открыли существование в организме и других *желез*, которые секретируют гормоны. (Первоначально словом «железа» обозначали небольшие тканевые образования в организме, теперь же этим термином обозначают любой орган, независимо от его размера, который способен секретировать жидкость: поджелудочная железа, молочная железа и т. д. Небольшие органы, которые не выделяют жидкий секрет, перестали называть железами, поэтому лимфатические железы теперь называют лимфатическими узлами.

Правда, в обиходе даже врачи иногда пользуются привычной старой терминологией, например, при ангине говорят, что у больного «увеличены железы».)

Многие железы, например железы желудочно-кишечного тракта, потовые или слюнные, выделяют жидкий секрет через протоки. У других же желез протоков нет, и они выделяют свой секрет непосредственно в кровь, которая и разносит вещества, выделяемые железами, по организму. Вещества, выделяемые железами в кровь (у которых отсутствуют протоки), — это и есть гормоны. Железы, продуцирующие гормоны, называются *эндокринными железами*, отсюда и название науки, изучающей гормоны, — *эндокринология*.

Естественно, больше всех заинтересованы в изучении гормонов — этих веществ, контролирующих функции организма млекопитающих и в особенности человека, — биологи. Следует обратить внимание на тот факт, что гормоны вырабатываются не только в организмах млекопитающих: у растений также есть гормоны, контролирующие и ускоряющие их рост, насекомые вырабатывают гормоны, контролирующие пигментацию и линьку, и т. д.

Когда исследователи обнаружили, что йод в организме накапливается в щитовидной железе, они вполне резонно предположили, что этот элемент является частью гормона. В 1915 году Эдвард Келвин Кендалл, работавший в Миннесоте, выделил из щитовидной железы аминокислоту, содержащую йод, которая обладала свойствами гормона. Этому веществу дали название *тироксин*. Каждая молекула тирокина содержала четыре атома йода. Как и в случае адреналина, химическая структура тирокина была очень похожа на структуру тирозина — именно из этой аминокислоты образовывался тироксин в щитовидной железе. (Много лет спустя биохимик Розалин Питт-Риверс выделила со своими сотрудниками другой гормон щитовидной железы — *трийодтиронин*. Его называли так, потому что в молекуле этого гормона содержалось три атома йода вместо четырех, как у тирокина. Трийодтиронин оказался менее стабильным по сравнению с тироксином, но зато в 3—5 раз более активным.)

Под контролем гормонов щитовидной железы находится общий метаболизм: они активизируют все клетки организма. Люди с недостаточной продукцией этих гормонов бывают заторможенными, вялыми, со временем у них может развиваться умственная отсталость — все это обусловлено замедлением процессов метаболизма в организме. И наоборот, избыточная продукция тирокина приводит к ускорению метаболических процессов в организме, что сопровождается повышенной возбудимостью, нервозностью. И в том и в другом случае развивается зоб. (Заболевание, характеризующееся недостаточной продукцией гормонов щитовидной железы, называется *микседема*, или *эндемический зоб*. При

избыточной продукции этих гормонов развивается *базедова болезнь*. — *Примеч. пер.*)

Гормоны щитовидной железы — их еще называют *тиреоидными гормонами* — контролируют *основной обмен* в организме, то есть скорость потребления кислорода в состоянии полного покоя в условиях комфорта, можно сказать, в состоянии ничегонеделания. Если у того или иного человека основной обмен отличается от нормы — бывает выше либо ниже ее, — то подозрение падает в первую очередь на нарушение функции щитовидной железы. Определение основного обмена — процедура довольно длительная и неприятная: человек должен заранее к ней подготовиться, ничего не есть, затем, пока идет исследование, в течение получаса неподвижно лежать, не говоря уже о том, что и до обследования ему также следует находиться в неподвижном состоянии еще больший период времени. Нельзя ли вместо того, чтобы проводить эту довольно мучительную для пациента процедуру, сразу взять быка за рога: определить, сколько гормонов вырабатывает щитовидная железа? Был разработан метод определения в крови содержания так называемого *связанного с белками йода* — показателя, который отражает уровень продукции тиреоидных гормонов. Вскоре этот быстрый и удобный метод полностью заменил определение основного обмена у человека. (В настоящее время при исследовании больных в крови определяют содержание непосредственно самих гормонов: тироксина и трийодтиронина. — *Примеч. пер.*)

Из гормонов наиболее хорошо изучен инсулин, первый белок, у которого была установлена структура. Его открытие стало кульминацией в длинной цепи событий.

Диабет — это название целой группы заболеваний, характеризующихся изнуряющей, постоянной жаждой и как следствие мочеизнурением. Диабет является наиболее характерным примером врожденного нарушения метаболизма. В Соединенных Штатах насчитывается около 1,5 миллиона больных диабетом, и 80 процентов из них — люди старше 45 лет. Это одно из немногих заболеваний, которому женщины подвержены больше, чем мужчины: среди больных диабетом женщины встречаются в 3—4 раза чаще, чем мужчины.

Название этой болезни происходит от греческого слова, означающего «сифон» (вероятно, тот, кто придумал это слово, представлял воду, текущую через организм, словно через сифон.) Наиболее опасная форма заболевания называется *сахарным диабетом*. Это название возникло оттого, что на поздних стадиях болезни моча больных становится сладкой на вкус. (Некоторые древние врачи именно так диагностировали диабет. Но название «сахарный» пошло от другого — моча таких больных привлекала много мух.) В 1815 году французский химик Мишель Эжен Шевро показал, что сладкий вкус мочи у больных диабетом обусловлен появлением в ней сахара глюкозы. Этот факт является прямым

свидетельством того, что организм не усваивает пищу в должной мере. И действительно, больные диабетом на поздних стадиях заболевания, несмотря на повышенный аппетит, постоянно теряют в весе. До 30—40-х годов XX века не существовало эффективных методов лечения этого заболевания.

В XIX веке немецкие физиологи Йозеф фон Мering и Оскар Минковски, проводя эксперименты на собаках, обнаружили, что удаление у них поджелудочной железы приводит животных к состоянию, подобному состоянию больных диабетом. После того как Бэйлис и Старлинг открыли гормон секретин, можно было считать, что и развитие диабета как-то связано с гормоном поджелудочной железы. Но все, что выделяет поджелудочная железа, — это пищеварительный сок. Откуда же берется гормон? Ключ к разгадке был найден неожиданно. Если перевязать выводной проток поджелудочной железы, так что ее секрет не сможет выделяться в кишечник, то со временем основная часть железы сморщится, как бы «усохнет», — основная часть, но не вся железа. Некоторые группы клеток — их называют *островки Лангерганса* (по имени немецкого врача Пауля Лангерганса, который описал их в 1869 году) — остаются неизмененными.

В 1916 году шотландский врач Алберт Шарпи-Шафер предположил, что именно в этих островках и образуется противодиабетический гормон. Он дал название этому гипотетическому гормону *инсулин*, что в переводе с латинского означает «островок».

Попытки выделить инсулин из ткани поджелудочной железы вначале потерпели неудачу. Как мы теперь знаем, инсулин является белком, поэтому пищеварительные ферменты поджелудочной железы — а в их числе содержатся и те, которые расщепляют белки, — разрушали гормон в процессе выделения. В 1921 году канадский врач Фредерик Грант Бантинг и физиолог Чарлз Герберт Бест, работавшие в Торонтском университете в лаборатории Джона Джеймса Мак-Лойда, предприняли новые попытки получить инсулин из поджелудочной железы. Вначале, для того чтобы вызвать атрофию той ее части, которая продуцирует ферменты, расщепляющие белки, они перевязали проток железы. Затем ученые экстрагировали из оставшейся неповрежденной островковой ткани интактный (целый, неповрежденный) гормон. Он оказался эффективным при введении его больным диабетом. Согласно расчетам, инсулин за последующие 50 лет спас жизнь 20—30 миллионам диабетиков.

В 1923 году Бантинг и Мак-Лойд получили Нобелевскую премию в области медицины и физиологии (заслуга последнего в открытии способа выделения инсулина заключалась лишь в том, что он предоставил Бантингу на лето, пока сам находился в отпуске, свою лабораторию).

Функция инсулина в организме — контролировать уровень глюкозы в крови. Обычно основная часть глюкозы содержится

в печени в виде *гликогена*, вещества, похожего на крахмал (гликоген был открыт в 1856 году французским физиологом Клодом Бернаром), и только небольшая ее часть, которая служит для восполнения энергетических потребностей клеток, циркулирует по организму с током крови. Повышение концентрации глюкозы в крови является сигналом для поджелудочной железы, по которому она начинает секретировать инсулин. Инсулин, который выбрасывается непосредственно в кровь, снижает уровень глюкозы в ней (этот эффект достигается за счет того, что гормон активизирует захват глюкозы клетками организма. — *Примеч. пер.*). Таким образом, инсулин снижает концентрацию глюкозы в крови до нормальных значений.

Проследите цепь событий: образование инсулина снижает уровень глюкозы в крови, а снижение уровня глюкозы, в свою очередь, снижает выброс инсулина, снижение секреции инсулина приводит к повышению уровня глюкозы в крови, что, в свою очередь, приводит к активации секреции инсулина, и т. д. Взаимосвязь содержания глюкозы в крови и секреции инсулина является хорошим примером реализации механизма *обратной связи*. Примерно так же работает автоматический обогреватель: при снижении температуры он включается, и это приводит к тому, что в помещении становится теплее, но как только температура поднимается до определенного значения, обогреватель выключается, и воздух начинает охлаждаться.

Механизм обратной связи — это основной механизм, при помощи которого организм поддерживает постоянство внутренней среды. Другим примером гормона, регулирующего постоянство внутренней среды, является *паратгормон*. Паратгормон образуется в паращитовидных железах. Паращитовидные железы — это две пары мелких желез, которые расположены на задней поверхности щитовидной железы и частично погружены в нее. Паратгормон был впервые выделен в чистом виде в 1960 году, американские биохимики Лайман Крейгтон Крайг и Говард Расмуссен потратили на его выделение целых пять лет.

Паратгормон также является белком. Его молекула несколько крупнее молекулы инсулина, состоит она из 83 аминокислот и имеет молекулярную массу 9500. Функция этого гормона — повысить концентрацию кальция в крови за счет увеличения всасывания его в кишечнике и снижения выделения кальция почками. Незначительное снижение уровня кальция в крови и является сигналом, по которому паращитовидные железы начинают выбрасывать в кровь паратгормон. Появление гормона в крови стимулирует утилизацию кальция в кишечнике и снижает его экскрецию, что в конечном итоге приводит к увеличению концентрации этого иона в крови и соответственно к снижению секреции паратгормона. Столь тесная взаимосвязь между уровнем кальция и секрецией паратгормона обеспечивает постоянное под-

держание нужной концентрации кальция в крови. Это очень важно, так как даже незначительное понижение его уровня в крови может стать причиной смерти. (По этой причине удаление парашитовидных желез фатально сказывается на человеке. Первое время, когда операции по поводу зоба только входили во врачебную практику, хирурги иногда в пылу вместе с частью щитовидной железы удаляли и парашитовидные железы — они столь незначительны в размерах, что на них не обращали внимания. Неизменным итогом таких операций была гибель больного.)

Иногда механизм обратной связи проявляется в тонком взаимодействии двух гормонов, обладающих противоположным действием. В 1961 году Гарольд Копп, работавший тогда в Британской Колумбии в Канаде, открыл новый гормон, вырабатываемый щитовидной железой, которому он дал название *кальцитонин*. Функция этого гормона заключалась в том, что он снижал концентрацию ионов кальция в крови за счет увеличения его отложения в костях. Таким образом, благодаря паратгормону и кальцитонину, обладающим разнонаправленным действием, механизм обратной связи, направленный на поддержание концентрации кальция в крови на одном уровне, реализуется на более тонком уровне. (Молекула кальцитонина представляет собой полипептид, состоящий из 32 аминокислот.)

Можно привести еще пример гормонов-антагонистов. Концентрацию глюкозы в крови помимо инсулина регулирует и другой гормон, который также секретируется клетками островков Лангерганса. В островковой ткани присутствуют два различных типа клеток: *альфа*- и *бета*-клетки. Бета-клетки продуцируют инсулин, а альфа-клетки — другой гормон, *глюкагон*. Существование глюкагона впервые было обнаружено в 1923 году. В кристаллическом виде он был выделен только в 1955 году. Молекула глюкагона представляла собой полипептид, состоящий из 29 аминокислот. Три года спустя, в 1958 году, была окончательно установлена его структура.

Глюкагон противостоит действию инсулина — он повышает концентрацию глюкозы в крови, поэтому благодаря усилиям двух гормонов, обладающих противоположным действием, уровень сахара в крови поддерживается на постоянном уровне. Некоторые гормоны гипофиза (об этом будет сказано ниже) также влияют на содержание глюкозы в крови, и их действие также противоположно действию инсулина. Открытие этого явления позволило аргентинскому физиологу Бернардо Альберто Хоуссу в 1947 году стать лауреатом Нобелевской премии в области медицины и физиологии.

Но вернемся к диабету. При этом заболевании клетки островковой ткани теряют способность вырабатывать достаточное количество инсулина, что приводит к повышению концентрации глюкозы в крови. Когда уровень сахара становится на 50 процен-

тов выше нормального значения, он переходит так называемый *почечный порог*, и глюкоза начинает выделяться с мочой. Потеря сахара — это меньшее из двух зол, повышение содержания сахара в крови приводит также к увеличению вязкости крови, что, в свою очередь, может вызвать истончение сердечной мышцы (сердце предназначено для того, чтобы перекачивать кровь, а не густой сироп).

Самый простой способ проверки наличия диабета — анализ мочи на содержание в ней сахара. Для проведения анализа достаточно несколько капель мочи добавить к реактиву Бенедикта (реактив назван по имени американского химика Фрэнсиса Бенедикта). Реактив Бенедикта содержит сульфат меди, который придает ему насыщенную синюю окраску. Если моча не содержит глюкозы, то синяя окраска раствора сохраняется. При наличии глюкозы сульфат меди переходит в окись меди — нерастворимое в воде вещество красно-коричневого цвета. Поэтому появление на дне пробирки красноватого осадка свидетельствует о наличии сахара в моче, что, как правило, означает наличие диабета.

Сегодня существуют более простые методы определения сахара в моче. Есть специальные полоски бумаги, длиной не более 5 сантиметров, пропитанные двумя ферментами: *глюкозодегидрогеназой* и *пероксидазой*, а также придающим бумажной полоске желтоватый цвет органическим веществом, которое называется *ортотолидин*. Полоски погружают в мочу пациента, после чего оставляют на воздухе. Если в моче есть глюкоза, то она соединяется с кислородом воздуха — в этом ей помогает фермент глюкозодегидрогеназа, — и при этом образуется перекись водорода. Пероксидаза, также присутствующая на полоске, способствует взаимодействию перекиси водорода с ортотолидином, при этом образуется вещество темно-синего цвета. Короче говоря, если после смачивания мочой полоска бумаги на воздухе из желтоватой становится синей, у врача есть все основания заподозрить у пациента диабет.

Если в моче появляется сахар, это означает, что сахарный диабет уже достаточно далеко зашел. Лучше выявить болезнь раньше, пока уровень сахара в крови не превысил почечный порог. Для этого следует проводить анализ на содержание глюкозы не в моче, а в крови. Сейчас широко используется *проба с сахарной нагрузкой*. Суть этой пробы такова: после того как пациент примет внутрь глюкозу и в его крови резко увеличится концентрация сахара, делают последовательные анализы крови, для того чтобы проследить за снижением в ней уровня глюкозы. У здоровых людей в ответ на повышение концентрации глюкозы в крови поджелудочная железа начинает секретировать инсулин, в результате чего уровень сахара через два часа возвращается к нормальным значениям. Если уровень глюкозы в течение трех и

более часов остается выше нормальных значений, это означает, что инсулиновый ответ у такого человека замедлен и, вероятнее всего, у него одна из ранних стадий диабета.

Не исключено, что инсулин каким-то образом контролирует и аппетит.

Все мы от рождения наделены тем, что некоторые физиологи называют «аппестатом», потому что он регулирует наш аппетит наподобие тому, как термостат поддерживает заданную температуру. Если «аппестат» установлен на максимум, то человек тратит жизнь на то, что постоянно потребляет калорий больше, чем их расходует, и это продолжается до тех пор, пока он не найдет в себе силы и не начнет контролировать себя.

В начале 40-х годов XX века физиолог Стефан Вальтер Рансон показал, что животные после частичного разрушения у них гипоталамуса (он располагается в нижних отделах мозга) начинают страдать ожирением. Вероятнее всего, гипоталамус и есть место локализации пресловутого «аппестата». Что управляет его действиями? Чувство голода появляется в сознании. Голодный желудок начинает волнообразно сокращаться, при попадании в него пищи сокращения прекращаются. Может быть, сокращения голодного желудка и служат сигналом «аппестату»? Нет, хирургическое удаление желудка никак не отражается на контроле аппетита.

Физиолог Джин Майер, работавший в Гарварде, считал, что существует более тонкий механизм включения «аппестата». По его мнению, оператором «аппестата» является уровень глюкозы в крови. После переваривания пищи уровень глюкозы в крови начинает постепенно снижаться; когда содержание сахара станет ниже определенного значения, «аппестат» включается и у человека появляется аппетит. Если он поест, концентрация глюкозы в крови сразу же возрастет и «аппестат» выключится.

Гормоны, о которых я говорил до сих пор, по химической структуре являются или белками (инсулин, глюкагон, секретин, паратгормон), или производными аминокислот (тироксин, трийодтиронин, адреналин). Но существует третья группа гормонов, совершенно отличающаяся по химической структуре от двух упомянутых, — это стероидные гормоны.

История открытия стероидных гормонов восходит к 1927 году, когда два немецких физиолога Бернхард Цондек и Зелмар Аш-хейм обнаружили интересный факт: экстракт мочи беременных женщин при введении его самкам мышей или крыс вызывал у животных течку. (Это открытие привело к появлению первого теста на беременность.) Исследователям сразу же стало ясно, что они открыли неизвестный ранее гормон, выполняющий специфические функции, — *половой гормон*.

Два года спустя ученые Адольф Фридрих Бутенандт, в Германии, и Эдвард Эдалберт Дойси, в Америке, независимо выделили этот гормон в чистом виде. Ему дали название *эстрон* (от слова «эструс», которое означает течку у самок животных). Структура эстрона была быстро установлена — это был стероид, основу которого составляли четыре сочлененных кольца холестерина. За свой вклад в открытие половых гормонов Бутенандту в 1939 году была присуждена Нобелевская премия по химии. Но его, как и Домагка, и Куна, власти вынудили отказаться от премии, и получить ее ученый смог только в 1949 году, после того как нацистский режим в Германии перестал существовать.

Сегодня эстрон является одним из представителей группы женских половых гормонов, получивших общее название *эстрогены* («вызывающие течку»). В 1931 году Бутенандту удалось получить первый мужской половой гормон, которому дали название *андростерон* (группу мужских половых гормонов называют *андрогены*, что означает «вызывающие возмужание»).

Именно образование половых гормонов в подростковый и юношеский периоды и вызывает те изменения в организме, которые происходят при превращении мальчиков в мужчин и девочек в женщин. Месячный цикл у женщин также является результатом сложного взаимодействия различных женских половых гормонов.

Женские половые гормоны образуются в яичниках, мужские — в яичках.

Половые гормоны не являются единственными представителями класса стероидных гормонов. Как было установлено позже, химические вещества, принадлежащие к классу стероидов и выполняющие функции гормонов, вырабатываются также в надпочечниках. Надпочечник, по сути, представляет собой комплекс двух желез: одна расположена внутри, вторая — снаружи. Внутренняя железа называется *мозговым веществом*, наружная — *корковым веществом*, или просто *корой*. В мозговом веществе надпочечников образуется адреналин. Что касается коркового вещества, то в 1929 году обнаружили, что экстракт этой части железы помогает выжить экспериментальным животным, у которых надпочечники были удалены (без введения экстракта коркового вещества эта операция вызывает 100-процентную гибель животных). Естественно, что после обнаружения такого факта ученые взялись за поиски гормонов коры надпочечников — *кортикоидных гормонов* («кортекс» в переводе с латыни означает «кора»).

Это исследование имело не только научное, но и большое практическое значение для медицины. Заболевание, известное под названием *болезнь Аддисона* (названо оно так по имени английского врача Томаса Аддисона, впервые описавшего его в 1855 году), имеет такие же симптомы, как и те, что появлялись у животных после удаления надпочечников. Стало ясно, что это заболевание вызвано

недостаточной продукцией в организме гормонов коры надпочечников и что, может быть, болезнь Аддисона можно лечить инъекциями кортикоидных гормонов, точно так же, как и диабет лечится введением инсулина.

Наибольших успехов в изучении этой проблемы добились два исследователя. Одним из них был Тадеуш Рейхштейн (который позже синтезировал витамин С), вторым — Эдвард Кендалл (который примерно за 20 лет до этого открыл тиреоидные гормоны). К концу 30-х годов XX века этим ученым удалось выделить из коры надпочечников более двух десятков различных соединений. По крайней мере у четырех из них была обнаружена гормональная активность. Кендалл дал этим веществам буквенные обозначения: А, В, Е и F — все они имели стероидную структуру (поэтому их стали называть *кортикостероидами*. — *Примеч. пер.*).

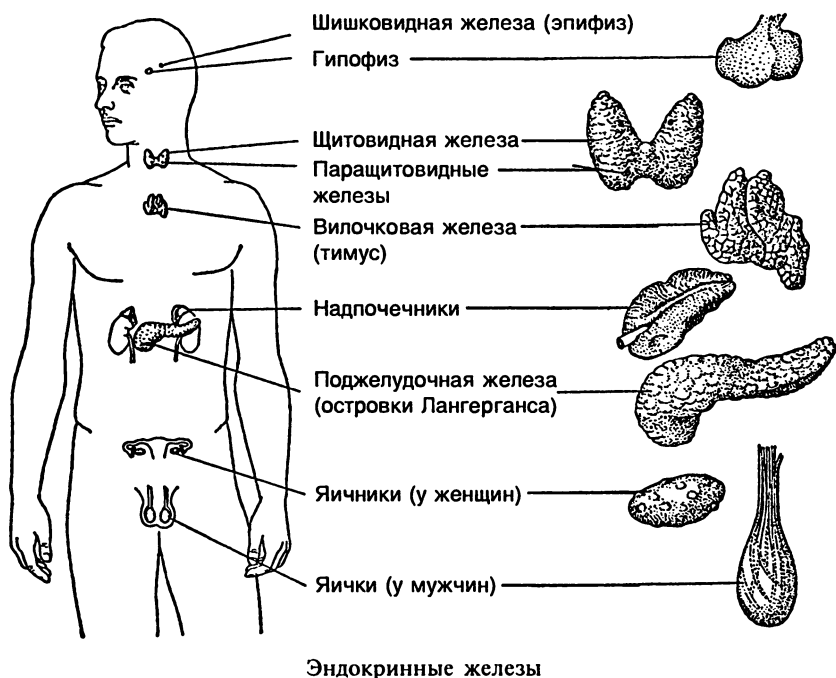
Но надпочечники — это очень маленькие по величине железы, поэтому для получения достаточного количества экстракта из их ткани потребовалось бы очень большое количество животных. Единственным способом разрешения проблемы стало попытаться синтезировать гормоны коры надпочечников в лабораторных условиях.

Поиски путей получения синтетических кортикоидных гормонов особенно интенсифицировались во время Второй мировой войны. Во многом этому способствовали ложные слухи. Стало известно, что немцы в больших количествах закупают в Аргентине на бойнях надпочечники скота для получения из них кортикостероидов, которые якобы повышают работоспособность немецких летчиков при полетах на большой высоте. Это было не так, никакого отношения к повышению работоспособности у здоровых людей гормоны коры надпочечников не имеют, но тем не менее слух этот подстегнул правительство Соединенных Штатов, и оно сделало синтез кортикостероидов приоритетным направлением, даже более приоритетным, чем синтез пенициллина или противомаларийных средств.

В 1944 году Кендаллу удалось синтезировать вещество А, и уже на следующий год компания Мерка начала производить его в больших количествах. Это вещество не оправдало ожиданий, оно оказалось малоэффективным при лечении болезни Аддисона.

В результате гигантского труда биохимику из компании Мерка Левису Сарретту удалось синтезировать вещество Е. Процесс синтеза вещества Е состоял из 38 стадий, позже этому веществу дали название *кортизон*.

Синтез вещества Е сразу же взбудоражил медицинскую общественность. Война закончилась, слухи о магическом действии экстрактов надпочечников на немецких пилотов оказались уткой, а надежды, появившиеся с созданием синтетического вещества А, не оправдались. Что касается вещества Е, то оно вошло в жизнь совершенно неожиданным образом.



В течение 20 лет врач клиники в Мейо (графство в Ирландии. — *Примеч. пер.*) Филип Шоуолтер Хенч изучал ревматоидный артрит, заболевание, которое не только приносит тяжелые страдания больному, но и приводит иногда к параличу.

Хенч предполагал, что в самом организме заключены природные механизмы, способные противостоять этому заболеванию, потому что, согласно его наблюдениям, артрит часто отступал во время беременности или при желтухе. Врач пытался найти какой-либо биохимический фактор, появление которого в организме сопровождало бы беременность и желтуху. Он пытался ввести больным артритом желчные пигменты (желтушный фактор) или половые гормоны (фактор беременности), но положительного результата ни в том ни в другом случае не получил.

Однако некоторые незначительные факты указывали на то, что гормоны коры надпочечников могут помочь при лечении ревматоидного артрита, и в 1949 году, когда кортизон стал доступен в достаточных количествах, Хенч попробовал ввести его своим пациентам. Кортизон подействовал! Он не излечивал артрит, как и инсулин не излечивал диабет, но в значительной мере устранял симптомы заболевания. Кортизон стал для больных артритом чем-

то вроде манны небесной. Более того, как оказалось позже, он оказался эффективным при лечении болезни Аддисона, где вещество А было бессильно.

За выделение, синтез и описание фармакологических свойств гормонов коры надпочечников Кендалл, Хенч и Рейхштейн в 1950 году получили Нобелевскую премию в области физиологии и медицины.

К сожалению, действие кортикостероидов на функции организма множественное и неоднозначное и применение их в качестве лекарственных средств приводит к проявлению побочных эффектов, зачастую очень серьезных. Поэтому врачи используют кортикостероидную терапию только в тех случаях, когда без нее обойтись невозможно. На основе природных кортикостероидов были созданы искусственные стероиды, обладающие кортикостероидной активностью (у некоторых из них к стероидной молекуле присоединен атом фтора). У синтетических кортикостероидов нежелательное побочное действие менее выражено по сравнению с их природными аналогами, но идеального вещества, у которого нежелательные эффекты отсутствовали бы, до сих пор не создано.

Одним из наиболее активных стероидных гормонов, образующихся в коре надпочечников, является *альдостерон*, выделенный Рейхштейном и его сотрудниками в 1959 году.

Но что координирует деятельность эндокринных желез, что контролирует выработку многообразных и столь мощных по действию гормонов? Ведь все они (а я назвал лишь часть их) способны вызвать значительные сдвиги в функционировании организма. Тем не менее гормоны действуют весьма гармонично, обеспечивая работу всех органов без сбоев, — так же гармонично звучат десятки инструментов одного оркестра. Что же управляет ими, кто является дирижером этого «гормонального оркестра»?

Управляет всеми гормонами *гипофиз* — маленькая железа, подвешенная снизу к основанию мозга (но не являющаяся его частью). Название этой железы происходит от греческого слова, означающего «растущий под» (имеется в виду «под мозгом»).

Гипофиз состоит из трех частей: передней доли, задней доли и соединяющего их небольшого моста (у некоторых организмов) — средней доли. Передняя доля является наиболее важной, поскольку она продуцирует как минимум шесть гормонов (все они по химической природе принадлежат к низкомолекулярным белкам), которые регулируют активность остальных эндокринных желез. Другими словами, это и есть тот дирижер, благодаря которому весь оркестр звучит слаженно. (Интересно, что располагается гипофиз как раз в центре полости черепа — как будто его специально поместили туда, как в наиболее безопасное место.)

Одним из гормонов гипофиза является *тиреотропный гормон (ТТГ)*. Его функция — стимулировать образование в щитовидной железе тиреоидных гормонов. Деятельность ТТГ подчиняется механизму обратной связи. Это означает, что под влиянием ТТГ щитовидная железа начинает продуцировать тиреоидные гормоны; повышение концентрации тиреоидных гормонов в крови, в свою очередь, уменьшает секрецию гипофизом ТТГ; снижение уровня ТТГ в крови приводит к снижению образования в щитовидной железе тиреоидных гормонов, и, наконец, уменьшение их концентрации в крови стимулирует секрецию ТТГ гипофизом. В результате этого цикла концентрация тиреоидных гормонов в крови поддерживается примерно на одном уровне.

Таким же образом *адренокортикотропный гормон (АКТГ)*, другой гормон передней доли гипофиза, поддерживает постоянный уровень гормонов коры надпочечников. При введении в кровь избыточных количеств АКТГ произойдет усиление продукции кортикостероидов, поэтому инъекции АКТГ будут иметь то же действие, что и инъекции кортизона, а следовательно, АКТГ можно использовать для лечения ревматоидного артрита.

По этой причине изучение АКТГ шло особенно интенсивно. В начале 50-х годов XX века выяснили, что его молекулярная масса составляет 20 000, что молекулу этого гормона можно легко разделить на фрагменты (*кортикотропины*), которые так же активны, как и вся молекула целиком. Один из таких фрагментов, представляющий собой полипептидную цепь, состоящую из 39 аминокислот, был изучен наиболее полно: исследователи установили его структуру, расщепление его на более мелкие фрагменты выявило и их гормональную активность. (В настоящее время адренокортикотропным гормоном называют именно этот 39-аминокислотный пептид. — *Примеч. пер.*)

АКТГ способен изменять пигментацию кожи у животных, и это его свойство проявляется и у человека. При заболеваниях, связанных с избыточным образованием АКТГ, кожа у человека темнеет. Известно, что у некоторых низших животных, особенно у земноводных, существует специальный гормон, отвечающий за пигментацию кожи. Подобный гормон в 1955 году был обнаружен и у человека. Он образуется также в гипофизе, его название — *меланоцитостимулирующий гормон* (меланоциты — это клетки, вырабатывающие кожный пигмент), или сокращенно *МСГ*.

Молекула МСГ достаточно хорошо изучена. Интересным является тот факт, что у МСГ и АКТГ есть общий фрагмент, состоящий из 7 аминокислот. Вероятно, это и является причиной того, что функции обоих гормонов частично перекрываются (оба гормона обладают одинаковым действием на выработку кожного пигмента).

Коль скоро мы заговорили о пигментации, было бы неплохо вспомнить и шишковидную железу — образование конической

формы, присоединенное, как и гипофиз, к основанию мозга. Свое название железа получила оттого, что по форме она напоминает сосновую шишку, ее еще называют *шишковидным телом*. Несмотря на то что, судя по строению, шишковидное тело явно являлось железой, долгое время не могли найти гормон, который эта железа вырабатывает. Только к концу 50-х годов XX века ученые, те, которые открыли МСГ, обработав материал, состоящий из 200 000 шишковидных желез крупного рогатого скота, смогли наконец-то получить небольшое количество вещества, которое при введении головастикам вызывало изменение цвета их кожи. Правда, этот гормон — ему дали название *мелатонин* — никак не влиял на активность меланоцитов человека.

Но вернемся к гипофизу. Я перечислил далеко не все гормоны, вырабатываемые этой железой. Два гормона гипофиза — *лютеинизирующий (ЛГ)* и *фолликулостимулирующий (ФСГ)* — контролируют развитие органов, ответственных за репродукцию. Гипофиз также вырабатывает *лактогенный гормон*, стимулирующий продукцию молока у женщин после родов.

Лактогенный гормон определяет и другие особенности функционирования женского организма в послеродовой период. Молодые крысы после введения им этого гормона начинали устраивать гнезда для потомства, хотя его появления на свет вовсе не предвиделось. И наоборот, мыши, у которых незадолго до окончания беременности удаляли гипофиз, после родов не проявляли особого интереса к своему потомству. Когда результаты этих экспериментов стали известны общественности, газетчики тут же дали лактогенному гормону свое название — «гормон материнской любви».

Эти три гипофизарных гормона, связанные с регуляцией функций репродуктивных органов, составляют группу *гонадотропных гормонов*, или *гонадотропинов*. В группу гонадотропинов входит и гормон, вырабатываемый плацентой (органом, который служит для связи организма матери с организмом плода, посредством плаценты из крови матери питательные вещества переходят в кровь плода, через нее же в обратном направлении поступают токсические продукты обмена), которому дали название *хорионический гонадотропин* человека. Уже через 2—4 недели после наступления беременности хориогонический гонадотропин вырабатывается в таких количествах, что можно определить его наличие в моче. При введении экстракта мочи беременных женщин мышам, лягушкам или крольчихам у животных проявляются специфические реакции. Этот способ использовался раньше для диагностики беременности на ранних этапах.

Наиболее заметно для глаза проявляется действие другого продукта, вырабатываемого передней долей гипофиза, — *соматотропного гормона (СТГ)*, более известного под названием *гормон роста*. Его действие сводится к стимуляции роста всего тела.

Дети, у которых снижена продукция гормона роста, становятся карликами, а те, у кого этот гормон вырабатывается в избыточных количествах, наоборот, вырастают в гигантов. Если увеличение продукции СТГ происходит после того, как рост человека закончился, то есть формирование его скелета полностью завершилось, то это приводит к непропорциональному росту до нелепых размеров кистей рук, ступней, нижней челюсти — такое заболевание называется *акромегалией*. Структуру гормона роста установил в 1966 году Ли, в 1970 году он смог синтезировать его.

Однако каким образом гормоны проявляют свою активность, какие химические изменения происходят при этом — исследователям мало что было известно.

Они могли только точно утверждать, что гормоны не являются ферментами, так как ни один гормон не ускорял какой-либо отдельной химической реакции. Следующим предположением было то, что гормоны, сами не будучи ферментами, каким-то образом изменяют активность ферментов, повышая ее или, наоборот, снижая. По крайней мере, действие инсулина, наиболее исследованного гормона, было определенно связано с *глюкокиназой* — ферментом, необходимым для превращения глюкозы в гликоген. Экстракты передней доли гипофиза и коры надпочечников существенно тормозили действие этого фермента, но в присутствии инсулина их ингибирующее действие на глюкокиназу не проявлялось. Таким образом, можно было сделать вывод, что одной из функций инсулина является активирование глюкокиназы и как следствие ускорение перехода глюкозы в гликоген. Это объясняло, почему инсулин снижает содержание глюкозы в крови.

Помимо этого, отсутствие инсулина в крови изменяет метаболизм по многим другим показателям, поэтому трудно объяснить, как одно вещество способно вызвать нарушение столь многих функций, что, собственно, и наблюдается при диабете. (То же самое можно сказать относительно всех гормонов и связанных с ними патологий.) Поэтому некоторые биохимики старались найти некие более общие, более глубокие механизмы регуляции гормонами функций организма.

Некоторые исследователи предположили, что инсулин каким-то образом помогает глюкозе проникнуть в клетку. Согласно их гипотезе, высокий уровень сахара в крови диабетиков является следствием того, что глюкоза не проникает в клетки организма и поэтому не может ими утилизироваться. (Ненасытный аппетит у диабетиков Майер, о котором я уже упоминал, объяснял тем, что глюкоза, содержащаяся в крови, не может по каким-то причинам проникнуть в клетки «аппетата».)

Если инсулин способствует проникновению глюкозы в клетки, то он должен каким-то образом влиять на клеточную мембрану. Но каким? Клеточные мембраны построены из белков и ли-

пидов. Конечно, можно предположить, что инсулин, который сам является белком, каким-то образом изменяет расположение боковых групп аминокислот мембранных белков и открывает тем самым каналы для глюкозы (а возможно, также и для других веществ).

Если предположение такого рода нас удовлетворяет, то можно пойти дальше и допустить, что другие гормоны белковой природы, поскольку каждый из них имеет свое характерное расположение аминокислот, также способны изменять проницаемость клеточной мембраны. По аналогии и стероидные гормоны, поскольку они являются веществами липидной природы, также могут действовать на липиды мембраны, открывая или закрывая каналы для каких-либо веществ. Тогда, помогая одним веществам проникнуть в клетку и, наоборот, препятствуя другим попасть в нее, гормоны способны коренным образом изменить внутриклеточные процессы. Они могут, способствуя появлению в клетке избытка субстрата для одного фермента и, наоборот, лишая другой фермент материала для работы, контролировать весь метаболизм, протекающий в клетке. Предположив, что от единственного гормона зависит, попадут или не попадут в клетку те или иные вещества, можно сделать заключение, что наличие или отсутствие этого гормона способно глубоко изменить ход метаболических процессов, протекающих в клетке, что, по сути, и происходит в случае инсулина.

Представленная в воображении картина весьма привлекательна, но она эфемерна. Биохимики предпочли бы точно знать, какие именно изменения происходят в мембране под действием гормонов. Начало подобного рода исследованиям было положено в 1960 году, когда ученые обнаружили существование неизвестного ранее нуклеотида, похожего на адениловую кислоту. Отличие заключалось в том, что фосфатная группа в нем была присоединена к молекуле сахара одновременно по двум различным положениям. Ученые, открывшие этот нуклеотид, Эрл Уилбур Сазерленд и Т.У. Ралл, назвали его *циклическим АМФ*. Циклический — оттого, что фосфатная группа, дважды присоединенная к сахару, образует цикл, АМФ — сокращенный вариант *аденозинмонофосфата*, другого названия адениловой кислоты.

Интенсивное изучение вновь открытого соединения показало, что оно широко распространено в тканях и обладает выраженным действием на активность многих самых разных ферментов, участвующих в клеточном метаболизме. Циклическая АМФ образуется из повсеместно встречающегося АТФ при помощи расположенного на клеточной мембране фермента, название которому *аденилатциклаза*. Этот фермент активируется под действием различных гормонов. Другими словами, проявление гормонами активности на уровне мембраны заключается в активации аденилатциклазы и увеличении образования в клетке циклического АМФ,

который, изменяя активность внутриклеточных ферментов, вызывает изменения в функционировании клетки.

Несомненно, этот процесс гораздо более сложный, чем простое изменение проницаемости мембраны, и можно было предположить, что в него помимо циклического АМФ вовлечены и другие вещества, но тогда это было только началом исследований. (За открытие циклического АМФ и установление его роли в функционировании клетки Э. Сазерленд в 1971 году был удостоен Нобелевской премии. Позже обнаружили другой расположенный на мембране фермент, активируемый гормонами, — *фосфолипазу* С. Были выяснены механизмы, с помощью которых циклический АМФ и продукты фосфолипазной реакции изменяют функциональную активность клетки. — *Примеч. пер.*)

Старость

Благодаря успехам современной медицины, которых она достигла в борьбе с инфекционными и онкологическими заболеваниями, а также в разрешении вопросов диетологии, возросла вероятность того, что каждый человек сможет прожить достаточно долго и дожить до глубокой старости. Можно ожидать, что примерно половина людей нынешнего поколения доживет до 70 лет (безусловно, ядерная война и подобные ей катастрофы в данном прогнозе не учитываются).

Когда-то случаи долгожительства были весьма редкими, и люди, которые доживали до старости, пользовались большим уважением. Автор «Илиады», например, с глубоким почтением относится к старому Приаму и старому Нестору. Нестор, как написано в поэме, прожил три века, отпущенные мужчине, но в то время средняя продолжительность жизни не превышала 20—25 лет, поэтому и Нестор, переживший три отпущенных мужчине века, вряд ли был старше 70 лет. Это почтенный возраст, но ничего экстраординарного в нем, согласно современным стандартам, нет. Переданное Гомером впечатление, которое возраст Нестора производил на античных людей, некоторым мифологам послужило основанием считать, что возраст старца достигал 200 лет.

Возьмем другой пример: шекспировский «Ричард II» начинается словами: «Джон Гонт, почтенный возрастом Ланкастер...» Современники Джона, если верить древним летописцам, также считали его стариком. Поэтому человек нашего времени испытает если не маленький шок, то, по крайней мере, удивление, узнав, что Джон Гонт прожил всего 59 лет. Интересным примером, взятым из американской истории, может служить Авраам Линкольн. Трудно сказать отчего: то ли из-за его бороды, то ли из-за грустного, исчерченного морщинами лица, а может быть, из-за песни тех времен, в которой его воспевали как «отца Авраама», —

но многие сейчас воспринимают славного президента как доживающегося смерти старика. А ему было всего 46 лет, когда его убили.

Я привожу эти примеры вовсе не в качестве примера того, что современная медицина существенно продлила человеческий век и что раньше люди даже не подозревали, сколь долго может прожить человек. Нет. Древнегреческий драматург Софокл прожил 90 лет, оратор Исократ — 98 лет, век Флавия Кассиодора, жившего в V веке в Риме, составил 95 лет, Дога, живший в XII веке в Венеции, прожил 97 лет, Тициан, художник эпохи Возрождения, дожил до 99 лет. Во времена Луи XV Дюк де Ришелье, внучатый племянник известного кардинала, умер в 92-летнем возрасте, французский писатель Бернард Ле Бовье де Фонтенель прожил целых 100 лет.

Приводя эти примеры, я хочу подчеркнуть другую мысль: хотя средняя продолжительность жизни в странах с достаточно развитым уровнем медицинского обслуживания и значительно выросла, максимальный срок жизни людей не изменился. Сегодня можно найти лишь несколько человек, возраст которых достиг или превысил возраст Исократ или Фонтенеля. Но вряд ли сегодня мы сможем найти 90-летнего старца, проявляющего активность бульшую, чем проявлял ее в свое время Исократ, или обладающего запасом энергии большим, чем Фонтенель, будучи в том же возрасте. Софокл в свои 90 писал великие трагедии, Исократ творил чудеса в риторике. Тициан не бросал кисти до последнего года своей жизни, Дандоло в свои 96 лет был неизменным лидером венецианцев в их борьбе против Византийской империи. Из наиболее известных пожилых людей XX века можно назвать Джорджа Бернарда Шоу, дожившего до 94 лет, и английского математика и философа Бертрана Расселла, который до последнего дня сохранял активность, а скончался он на 98-м году жизни.

Хотя и гораздо большая часть человеческой популяции доживает сегодня до 60-летнего возраста, выше этого значения средняя продолжительность жизни за последнее время выросла очень незначительно. Согласно данным Нью-Йоркской страховой компании, средняя продолжительность жизни 60-летних американских мужчин в 1931 году была примерно такой же, как и у их сверстников полтора века назад, даже немного сократилась — 14,3 года против 14,8. Для американских женщин эти значения составляли 15,8 и 16,1 соответственно. Благодаря появлению антибиотиков после 1931 года продолжительность жизни американцев обоих полов увеличилась на два с половиной года. Но в целом, несмотря на все достижения медицины и науки, человек стареет с той же скоростью и точно так же, как и прежде. Человечество еще не изобрело способа предотвращения постепенного изнашивания и неизбежной окончательной поломки той машины, которая зовется человеческим организмом.

Как и в других машинах, в организме человека есть части, которые приходят в негодность первыми. Сердечно-сосудистая система, ритмично бьющееся сердце и замкнутая сеть сосудов — вот ахиллесова пята человека. Прогресс человечества в борьбе за продолжительность жизни выдвинул в качестве причин смерти сердечно-сосудистые заболевания на первое место. Примерно половина граждан Соединенных Штатов умирает от болезней сердца и сосудов, и одну четвертую жизнью уносит атеросклероз.

Атеросклероз (название болезни происходит от греческого слова, означающего «мучнистая твердость») — это заболевание, характеризующееся появлением на внутренней поверхности артерий жировых отложений, вследствие чего сердце вынуждено работать с большей нагрузкой, чтобы поддерживать скорость кровотока в сосудах на прежнем уровне. Давление крови в сосудах возрастает, а повышение давления, в свою очередь, вызывает растяжение стенок мелких сосудов, что может вызвать их разрыв. Если это происходит в мозгу (особенно в легкоуязвимых его отделах), то возникает кровоизлияние, или, как часто говорят, «удар». Иногда повреждение сосуда бывает незначительным — тогда человек чувствует лишь легкое недомогание и преходящий со временем дискомфорт, а то и вообще ничего не замечает. Однако массивное повреждение сосудов влечет за собой паралич или же становится причиной быстрой смерти.

Появление на внутренней стенке сосудов шероховатости и их сужение представляет собой опасность и другого рода. При прохождении крови по сосудам с шероховатыми стенками увеличивается трение клеток крови об эти стенки, что повышает вероятность образования сгустков крови — тромбов; сужение сосудов может привести к тому, что тромб не сможет пройти через просвет сосуда, забьет его, остановив полностью движение крови. Если это произойдет в коронарной артерии, питающей сердечную мышцу, то блок этой артерии (коронарный тромбоз) может вызвать развитие инфаркта сердечной мышцы и стать причиной практически мгновенной смерти.

Вопрос о причинах, вызывающих образование отложений на стенке артерий, давно является предметом споров среди ученых-медиков. Ясно, что в процессе образования бляшек внутри артерий участвует холестерин, но какова его роль — точно пока не известно. В плазме крови содержатся так называемые липопротеины — вещества, состоящие из холестерина и некоторых других липидов, соединенных со специфическими белками. Концентрация в крови некоторых компонентов, входящих в состав липопротеинов, постоянна, она не зависит от того, болен ли человек или здоров, сыт он или голоден и т. д. Количество других компонентов меняется после приема пищи, третьи — в особенно больших количествах содержатся в крови тучных людей, страдающих ожирением.

Атеросклерозу, как правило, сопутствует высокое содержание липидов в крови и избыточный вес. Тучные люди более склонны к развитию атеросклероза, чем худощавые. У диабетиков в крови также содержится большое количество липидов, и они также более склонны к заболеванию атеросклерозом, чем здоровые индивидуумы. И наконец, чтобы нарисовать картину полностью, скажу, что случаи заболевания диабетом среди полных людей встречаются гораздо чаще, чем среди худых.

Поэтому не случайно, что до преклонных лет обычно доживают сухошавые люди. Крупные, полные мужчины бывают часто весельчаками, но, увы, на этом свете, как правило, они надолго не задерживаются. (Конечно же у каждого правила всегда найдутся исключения, и в качестве обратных примеров можно привести Уинстона Черчилля и Герберта Гувера, которые отпраздновали свои девяностолетия, хотя худыми их никак нельзя было назвать.)

Наиболее важным в данный момент является следующий вопрос: можно ускорить развитие атеросклероза или, наоборот, предотвратить это заболевание с помощью диеты? Животные жиры — те, которые содержатся в молоке, яйцах, сливочном масле, — особенно богаты холестерином; в растительных жирах его содержится гораздо меньше. Более того, ненасыщенные жирные кислоты, входящие в состав растительных жиров, как показали исследования, препятствуют отложению холестерина в сосудах. Несмотря на то что к окончательным выводам в этом вопросе ученые еще не пришли, люди в надежде предотвратить утолщение стенок сосудов начали увлекаться диетами с низким содержанием холестерина. Несомненно, это не причинит им вреда. (Исследования последних лет показали, что слишком низкая концентрация холестерина в крови еще более чревата опасными последствиями, чем его повышенное содержание. — *Примеч. пер.*)

Следует иметь в виду, что не весь холестерин в плазме крови берется из пищи: организм способен сам синтезировать его, что и делает с необыкновенной легкостью. Поэтому, если вы находитесь на диете, полностью лишенной холестерина, он все равно будет в достаточном количестве присутствовать в липопротеинах крови. Отсюда разумнее предположить, что проблема заключается не просто в наличии холестерина в крови, а в склонности отдельных индивидуумов к его отложению в тех сосудах, которые наиболее важны для жизнедеятельности организма. Не исключено и то, что мы имеем дело с наследственной особенностью организма, заключающейся в образовании избыточных количеств холестерина. Биохимики во всем мире заняты поисками лекарств, которые бы снизили образование холестерина, в надежде на то, что эти лекарства смогут предупредить развитие атеросклероза у лиц, склонных к этому заболеванию. (И в этом направлении достигнуты определенные результаты: уже существует

целая группа лекарственных средств, способных снижать уровень холестерина в крови, — гиполипидемические средства. — *Примеч. пер.)*

Но и те, кому посчастливилось избежать атеросклероза, все равно стареют. Старость — это та болезнь, которая обязательно настигнет человека, каким бы здоровым он ни был. Ничто не может остановить подкрадывающуюся немощность, возрастающую хрупкость костей, развивающуюся слабость мышц, малоподвижность суставов, снижение рефлексов, ослабление зрения, потерю живости мышления. У одних эти симптомы развиваются с большей скоростью, у других — с меньшей, но быстро ли протекает процесс, медленно ли — он всегда безжалостно неотвратим.

И вероятно, человеку не следует по этому поводу громко жаловаться на судьбу. Ведь старость и смерть неизбежны, и они начинают медленно приближаться с самого рождения. Как правило, продолжительность жизни млекопитающих коррелирует с их размерами. Самые маленькие животные, землеройки, живут до полутора лет, крысы могут жить 4—5 лет. Кролик может жить до 15 лет, собака — до 18, свинья — до 20, лошадь — до 40, а слон — даже до 70 лет. Чем меньше млекопитающее, тем быстрее оно проживает свою жизнь. Чем животное меньше, тем быстрее у него бьется сердце. Сравните землеройку, у которой частота сокращений сердца в минуту достигает 1000, со слоном, у которого этот показатель равен только 20.

Выявляется закономерность: продолжительность жизни млекопитающих такова, что за время ее сердце может сделать приблизительно 1 миллиард сокращений. Но человек является удивительным исключением из общего правила. Он гораздо меньше лошади, не говоря уже о слоне, но ни одно млекопитающее не живет дольше человека. Не будем принимать во внимание не подтвержденные документально сведения о супердолгожителях, будем оперировать только достоверными данными. Эти данные позволяют утверждать, что на земле существует (или существовало) достаточно большое количество людей, которые прожили не менее 115 лет. Единственно, кто из позвоночных превысил этот рубеж, — это, конечно, крупные малоподвижные черепахи.

Пulsь у человека составляет в среднем 72 удара в минуту — такой же, как и у других млекопитающих того же размера. За 70 лет, чему примерно равна средняя продолжительность жизни человека в технологически развитых регионах земного шара, сердце должно сократиться 2,5 миллиарда раз, а за 115 лет — около 4 миллиардов раз. Даже ближайшие родственники человека, крупные обезьяны, не могут сравниться с ним по продолжительности жизни. Горилла, значительно более крупная по сравнению с человеком, живет не более 50 лет.

Выходит, что человеческое сердце справляется со своими функциями лучше, чем сердца всех других животных, существующих в природе. (Сердце черепахи может не изнашиваться дольше, но оно испытывает несравненно меньшие нагрузки, чем человеческое.)

Почему человек оказался долгожителем по сравнению с другими млекопитающими — неизвестно, самого человека гораздо больше интересует другой вопрос: почему он не может жить еще дольше? И в конце концов, что такое старость? До сих пор по этому поводу никто ничего вразумительного не сказал. Одни считают, что со временем постепенно снижается сопротивляемость организма по отношению к инфекциям (у одних быстрее, у других медленнее — все зависит от наследственности). Другие предполагают, что со временем клетки организма засоряются того или иного рода шлаками (опять же у кого раньше, у кого позже). Согласно этой теории, с годами в клетке накапливаются «отходы» — побочные продукты, которые клетка не может утилизировать и от которых она не способна избавиться. По мере накопления шлаков они начинают вмешиваться в метаболизм клетки столь глубоко, что она прекращает выполнять свою функцию. И когда таких нефункционирующих клеток накапливается много, организм умирает. Одна из разновидностей этой теории рассматривает в качестве шлаков молекулы белков, которые вследствие образования межмолекулярных связей становятся жесткими и ломкими, что в конце концов приводит к механизму клетки в негодность.

Если это так, то повреждение клетки со временем — это ее неотъемлемое свойство. Но в экспериментах Карреля культура эмбриональных клеток жила в лабораторных условиях десятилетиями, и это позволило предположить, что клетки бессмертны и что только собрание триллионов отдельных клеток в единый организм приводит их к гибели, то есть повреждаются не клетки, а их организация.

Но это не так. Как считают сейчас многие исследователи, Каррель при внесении в культуру питательных веществ мог, сам того не желая, вносить в нее и свежие клетки. Эксперименты с клетками или группами клеток, в которых возможность внесения свежего материала была полностью исключена, показали, что клетки все-таки неизбежно старели, скорее всего, из-за необратимых изменений, происходящих со временем с их главными компонентами.

Но вернемся снова к человеку, точнее, к его необычно большой продолжительности жизни. Могло ли произойти так, что ткани человеческого организма нашли более эффективный, чем у других млекопитающих, способ замедлять старение клеток или поворачивать этот процесс вспять? Опять же птицы, как правило, живут гораздо дольше млекопитающих того же размера, хотя метаболизм у птиц протекает гораздо интенсивнее, чем у млекопитающих. Что это — суперспособность пернатых омолаживаться или замедлять старение?

Если одни организмы способны предотвращать старение более эффективно, чем другие, то, может быть, и человек когда-нибудь познает способ, которым они это делают, усовершенствует его и овладеет тайной молодости? И тогда старость можно будет лечить и даже излечивать? И тогда можно будет наслаждаться необычайно долгой жизнью? А может, и бессмертием?

Подобный оптимизм присущ отдельным людям. Чудеса, которые совершила медицина за последние десятилетия, позволяют надеяться, что в будущем таких чудес станет гораздо больше. А если это так, то что за досада — жить в то время, когда еще не нашли лекарства от рака, или от артрита, или от старости.

В конце 60-х годов XX века некоторых увлекла идея глубокого замораживания человеческого тела в момент смерти для того, чтобы клетки тканей надолго сохранились насколько можно неповрежденными. А когда придет время и люди научатся побеждать смерть, тогда человека можно будет оживить и сделать его здоровым, молодым, счастливым.

Разумеется, на сей день пока нет никаких оснований надеяться на то, что когда-либо люди научатся воскрешать умерших или смогут возвращать к жизни замороженных, пусть те даже были еще живыми в момент замораживания. Сторонники замораживания даже не предполагают, какие катаклизмы могут произойти в общественной жизни при большом наплыве, если не наводнении, вернувшихся к жизни покойников — ведь страстное желание обрести бессмертие овладеет всеми.

В действительности, если человек научится возвращать к жизни замороженных, вряд ли появится нужда замораживать здоровые тела. Это было бы слишком расточительным. Биологи могли бы достичь гораздо больших успехов в получении целого организма из различных групп специализированных клеток. Клетки кожи или клетки печени имеют тот же самый генетический аппарат, что и все клетки в организме, — тот, который образовался в оплодотворенной яйцеклетке. По мере развития эмбриона клетки специализировались за счет повышения активности одних генов и снижения активности других. Может быть, можно процесс повернуть обратно: снизить деятельность активных генов и, наоборот, повысить ее у неактивных — другими словами, вернуть активность всех генов к исходному состоянию, тому, в котором они находились сразу же после оплодотворения яйцеклетки. Тогда достаточно будет одной-единственной клетки организма, чтобы, заставив ее повторить свое развитие сначала, получить новый организм, генетически идентичный тому, которому эта клетка принадлежала прежде. Безусловно, такой способ — он называется клонированием — гораздо более перспективен в плане сохранения личности (а может быть, даже и личностной памяти). И тогда, вместо того чтобы замораживать целый организм, можно будет заморозить всего лишь кусочек одной из его тканей.

Однако следует задаться вопросом: хотим ли мы в действительности бессмертия — все равно с помощью замораживания, или клонирования, или просто остановив старение организма? Вряд ли на земле найдется много человеческих существ, которые отказались бы от вечной жизни, жизни без болей, без болезней — жизни без старости.

Но давайте представим, что все мы бессмертны. Общество, которому неизвестно (или почти неизвестно), что такое смерть человека, не будет знать (или почти не будет знать) и что такое появление человека на свет. Это должно означать, что в этом обществе не будет детей. Допустим, это не фатально, допустим, что общество, достаточно эгоистичное, ради бессмертия пойдет на это и в нем исчезнут дети.

Но сможет ли такое общество существовать? Может ли существовать общество, состоящее из одного и того же набора мозгов, все члены которого думают одинаково? Не остановится ли такое общество в развитии, не станет ли бесконечно кружить по одной и той же колее? Следует понимать, что у каждого появляющегося на свет ребенка не просто молодой мозг, у него *свой* мозг, и это означает появление в обществе *нового* мозга. Каждый ребенок (за исключением однояйцевых близнецов) обладает уникальным генетическим аппаратом (а значит, и жизненным потенциалом), которого не было ни у одного человека за всю историю человечества. Только благодаря детям человечество постоянно обогащается новыми комбинациями генов, что открывает ему путь к усовершенствованию и развитию.

Конечно, при желании можно снизить уровень рождаемости, но не уничтожим ли мы этим человечество? Конечно, было бы неплохо избавиться от болей и всех неприятностей, которые несет с собой старость, но не создадим ли мы новый вид людей — человека вечно живущего, пресыщенного, скучающего, человека *одного и того же*, не допускающего появления нового, лучшего?

Думаю, перспектива бессмертия — наихудшая из всех, которые могут ожидать человечество.

Глава 15

РАЗУМ

Нервная система

Если оценивать человеческий организм исключительно с точки зрения его физических возможностей, то человека вряд ли можно назвать венцом природы. Большинство животных, тело которых имеет такие же размеры, значительно превосходят человека в силе. По сравнению, скажем, с кошкой человек двигается довольно неуклюже, бежит он не так быстро и не так легко, как

это делает, например, собака, не говоря уже о лани. А о зрении, слухе и обонянии речь и вовсе не стоит заводить — все животные и видят, и слышат, и различают запахи гораздо лучше, чем человек. Наш скелет плохо приспособлен к вертикальному положению: вряд ли какой лесной зверь в конце ничем не примечательного с точки зрения физической нагрузки дня страдает болями в пояснице.

Природа знает множество примеров эволюционного совершенства живых организмов: это и рыбы — они идеально приспособлены для плавания; это и птицы — те умеют летать; это и насекомые, которые дают чрезвычайно многочисленное потомство и поэтому быстро приспосабливаются к смене условий внешней среды; даже вирусы, несмотря на примитивность строения, функционируют весьма эффективно. На их фоне человек выглядит весьма неуклюже сконструированным созданием. Как организм в чистом виде он с трудом может конкурировать с любым живым существом, какую бы экологическую нишу на Земле оно ни занимало.

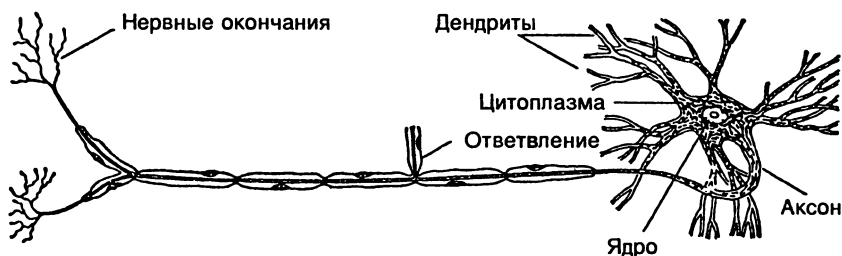
Венцом природы человек стал благодаря специализации и развитию только одного органа — головного мозга.

Клетка чувствует изменения окружающей среды и реагирует на них соответствующим образом. Любое изменение внешних условий для клетки является *раздражителем*, или *стимулом*, а реакция клетки на подобное изменение является *ответом*. Так, если в воду, в которой плавают простейшие одноклеточные организмы, капнуть раствор сахара, то простейшие поплывут к тому месту, где концентрация сахара будет высока, и, наоборот, если вместо сахара вы капнете в воду раствор кислоты, они поплывут от того места, где концентрация кислоты будет самой высокой. Такой простой, автоматический тип ответа вполне пригоден для одноклеточных организмов, но он вызовет беспорядок в организме, который будет состоять из множества клеток. Любой многоклеточный организм должен иметь специальную систему, которая координировала бы ответы каждой из его клеток. В отсутствие подобной системы организм будет напоминать город, жители которого не умеют общаться между собой и поэтому действуют несогласованно, кто во что горазд. Поэтому уже у кишечнорастворимых, наиболее примитивных из многоклеточных организмов, появляются зачатки нервной системы — этого координатора согласованности действий. У этого раздела беспозвоночных животных появляются первые нервные клетки. Это специальные клетки, состоящие из *тела* и отходящих от него отростков, которые разветвляются на концах на тончайшие нити.

Функционирование нервных клеток — процесс настолько тонкий и сложный, что даже на простом примере кишечнорастворимых

ных довольно непросто объяснить, как это происходит на самом деле. С помощью еще непонятых механизмов нервная клетка чувствует изменения окружающей среды: это может быть изменение концентрации какого-либо вещества, или изменение температуры или освещенности, или движения потоков воды, или же прикосновение какого-либо объекта. Но каково бы ни было раздражение, оно передается по нервной клетке в направлении ее контакта с другой нервной клеткой (межклеточный контакт, образуемый нервными клетками, называется *синапс*) и переходит на нее. Так, через синапс стимул передается с клетки на клетку. (В нервной системе высокоразвитых организмов клетка может образовывать тысячи синапсов с соседними клетками.) В случае кишечнополостных, например медузы, импульс проходит через весь организм, и медуза отвечает сокращением какой-то отдельной части своего тела или же всех его частей. Если раздражителем является частица пищи, медуза поглощает ее, сокращая свои щупальца.

Все это, безусловно, происходит автоматически, но, поскольку пища необходима медузе, как и любому другому живому существу, нам кажется, что в ее действии есть цель. Скорее всего, так нам кажется оттого, что человек в силу того, что является существом, чьи действия целенаправленны и мотивированны, склонен видеть целенаправленность во всем, что его окружает, даже в неживой природе. Ученые называют такое отношение к окружающему миру *телеологическим* и всячески стараются избегать его в своих рассуждениях и высказываниях. Но когда речь идет об эволюции, точнее, о результатах этого процесса, все синонимы целенаправленности напрашиваются сами собой, поэтому нет ничего удивительного в том, что почти все самые закоренелые пуристы в этом вопросе впадают в телеологию. (У вас, уважаемые читатели, была возможность заметить, что и я часто этим грешу.) Тем не менее, разбирая вопросы, связанные с развитием нервной системы и мозга, давайте все-таки постараемся избегать телеологического воззрения. Природа не конструировала мозг; он возник вследствие длительной серии случайных эволюционных изменений, в результате которых полезные признаки, появляющиеся на каждой стадии эволюции, давали новым организмам преимущество перед уже существующими формами. В борьбе за выживание животные, обладающие этим признаком, были по сравнению со своими конкурентами более приспособлены к изменениям внешней среды и поэтому быстрее могли на них реагировать — это и явилось причиной естественного отбора. Если, например, на теле животного появилось пятно, особым образом чувствительное к свету, то этот признак был настолько важным, что со временем это пятно почти всегда эволюционировало в орган зрения — сначала в *зрительное пятно*, из которого со временем развивался глаз.



Нервная клетка

Специализированные группы клеток, которые явились зачатками органов чувств, начали появляться у *Platyhelminthes*, или плоских червей. Более того, у плоских червей уже можно обнаружить зачатки нервной системы, которая не просто посылает беспорядочные импульсы по организму животного, а генерирует их только тогда, когда нужно отвечать на какой-то внешний стимул. Это достигается с помощью нервного тяжа, название которому *центральная нервная трубка*. Таким образом, плоские черви стали первыми организмами, у которых появилась *центральная нервная система*.

Но это еще не все. Органы чувств у плоских червей локализовались преимущественно на их головном конце, то есть в той части тела, которая при движении червя первой соприкасается с окружающим миром, и поэтому нет ничего удивительного в том, что нервная трубка наиболее хорошо развита в передней части тела и образует утолщение в области головного конца. Это утолщение явилось прообразом головного мозга.

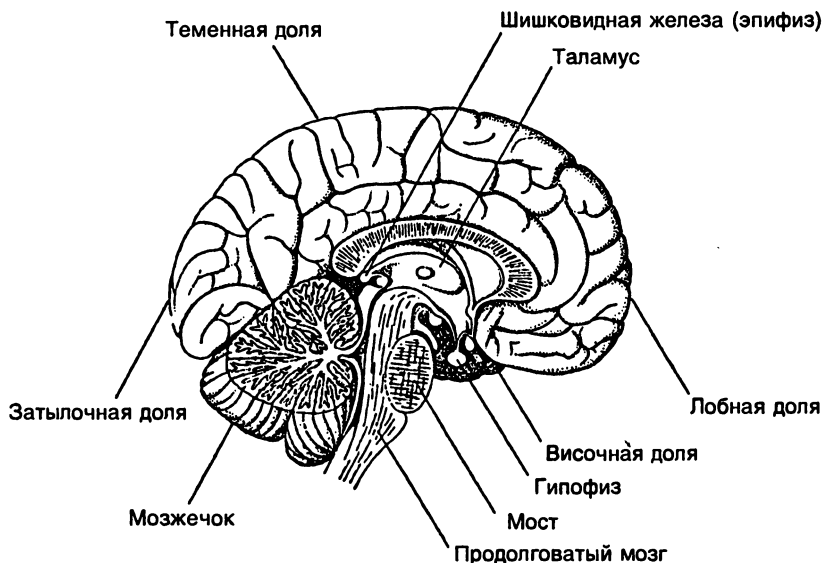
По мере усложнения организмов у них появлялись новые признаки. Нервная трубка и отходящие от нее ответвления разрастались, образуя охватывающую своими окончаниями все тело систему *афферентных* («приносящих») нервных волокон, по которым сведения о раздражителе поступали в нервную трубку, и систему *эфферентных* («выносящих») волокон, проводящих сигнал от трубки к исполнительным органам. Утолщение, образованное нервными клетками в головном конце тела, становилось все более и более сложным по строению. Морфология нервных волокон также эволюционировала, у них появилась способность быстрее проводить нервный импульс. У кальмаров, наиболее высокоорганизованных несеgmentированных животных, увеличение скорости проведения импульса сопровождалось утолщением нервного волокна. У сегментированных животных вокруг волокон появилась оболочка из жироподобного материала (его название *миелин*), который весьма эффективно повышает скорость проведения импульса по нервному волокну. У человека некоторые волокна способны проводить импульс со скоростью 100 метров в

секунду (или 360 километров в час), тогда как у некоторых беспозвоночных она не превышает и 160 метров в час.

У хордовых произошло радикальное изменение локализации нервного тяжа. У них этот главный нервный ствол стал проходить вдоль спинной части туловища (по этой причине его чаще называют уже *спинным мозгом*), тогда как у менее развитых животных нервный ствол проходит по брюшной половине тела. У позвоночных спинной мозг защитило костное образование — позвоночный столб. Позвоночник, хотя его первоначальным предназначением и была защита нервного тяжа, со временем начал выполнять и другие немаловажные функции. Он стал служить основой, на которую хордовые смогли «повесить» свое тело и которой они могли доверить свой вес. Из позвоночника со временем появились ребра, которые закрыли грудь, челюсти с зубами для пережевывания пищи, а также длинные кости, которые дали начало конечностям.

У хордовых развитие мозга происходит из трех мозговых пузырей, которые легко обнаружить у более примитивных представителей позвоночных. Эти пузыри, которые являются просто утолщением спинного мозга, имеют названия *передний мозг*, *средний мозг* и *задний мозг*, их впервые описал еще в 280 году до нашей эры греческий анатом Эразистрат из Хиоса. На головном конце спинного мозга нервная трубка постепенно переходит в утолщение — задний мозг, который называют *продолговатым мозгом*. На передней поверхности продолговатого мозга почти у всех примитивных хордовых имеется выпячивание, которое называется *мозжечок* («маленький мозг»). Кпереди от мозжечка расположен средний мозг. У низших позвоночных средний мозг связан преимущественно с функцией зрения, и в его состав входят две *оптические доли*, тогда как за обоняние и вкус преимущественно отвечает передний мозг, точнее, его две *обонятельные луковицы*. Помимо обонятельных луковиц в состав переднего мозга входят *головной мозг* и *таламус*, нижнюю часть которого называют *гипоталамусом*. (У человека головной мозг — самая большая по размеру часть мозга.) Французский анатом Мари Жан Пьер Флоренс проводила опыты по удалению головного мозга у животных. Наблюдение за их дальнейшим поведением позволило ей в 1824 году сделать вывод, что головной мозг отвечает за действия, связанные с мышлением и произвольными действиями.

Головной мозг покрыт корой, которая является вершиной развития нервной системы. У рыб и земноводных кора головного мозга представлена преимущественно гладким покрытием, которому дали название *плащ* (или *паллиум*), у пресмыкающихся появляется новая нервная ткань, так называемый *вторичный плащ* (или *вторичная мантия*, или *неопаллиум*), которой суждено было



Головной мозг человека

стать основой для дальнейшей эволюции головного мозга. Постепенно эта часть мозга принимает на себя функцию контроля над зрением и другими органами чувств. Начало перемещения анализатора зрительных сигналов из среднего мозга в передний мозг становится заметным уже у пресмыкающихся, у птиц же это перемещение полностью завершается. С появлением первых млекопитающих неопаллиум начинает все больше изменяться. Он уже покрывает всю поверхность головного мозга. Вначале неопаллиум остается по-прежнему гладким, но по мере появления высших млекопитающих он все больше и больше разрастается, его поверхность начинает превышать поверхность головного мозга, поэтому он образует складки и *извилины*. Складчатая структура коры головного мозга высших млекопитающих отражает сложность его строения и его объем. В наибольшей степени складчатость коры головного мозга выражена у человека.

Если проследить путь развития видов, то можно увидеть, что головной мозг становится все более и более доминирующей частью мозга. Средний мозг постепенно утрачивает свои позиции. Если говорить о приматах, у которых развилось зрение, но редуцировалось обоняние, то у этого отряда млекопитающих обонятельные луковицы переднего мозга уменьшились до размеров маленьких шариков, но в то же время головной мозг разросся и стал превосходить в размерах таламус и мозжечок.

Даже у ископаемого человека мозг развит в большей степени, чем у большинства человекообразных обезьян. Мозг шимпанзе

или орангутана весит неполных 400 граммов, а вес мозга гориллы, которая значительно крупнее человека, составляет в среднем 540 граммов. Мозг питекантропа весил приблизительно от 850 до 1000 граммов. Мозг родезийского человека весил уже 1300 граммов, а у неандертальца вес этого органа достигал уже 1500 граммов, то есть был таким же, как и у современного *Homo sapiens*. Современный человек в аспекте мыслительной деятельности значительно превосходит неандертальца, поэтому у него более выражен передний мозг, который и контролирует высшую нервную деятельность. У неандертальца был низкий лоб, поэтому его головной мозг был смещен назад, у современного человека лоб высокий, и мозг его выдается вперед.

Мозг современного человека составляет по массе приблизительно $\frac{1}{50}$ часть массы его тела, то есть на каждый грамм мозга у человека приходится 50 граммов тела. Для сравнения, у шимпанзе масса мозга составляет только $\frac{1}{150}$ часть массы тела, у гориллы и того меньше — $\frac{1}{300}$ часть. Разумеется, у некоторых мелких приматов соотношение масс мозга и тела достигает больших значений по сравнению с человеком. (Оно может быть большим даже у птиц, например у колибри.) У мелких обезьян это соотношение достигает $\frac{1}{18}$. Однако в абсолютном значении масса мозга у таких обезьян слишком мала, чтобы обеспечить всю сложность мыслительной деятельности, характерной для человека. Короче говоря, мозг человека настолько большой, насколько он и должен быть большим, чтобы выполнять свои функции; он большой как в абсолютном значении его массы, так и относительно массы тела человека.

Это положение как нельзя лучше демонстрирует тот факт, что только два типа млекопитающих имеют мозг, существенно больший, чем человеческий, но величина масса их мозга не сказывается на их рассудочной деятельности. У самых больших слонов масса мозга может достигать 6000 граммов, а у самых больших китов — 9000 граммов. Однако и размеры этих животных необыкновенно большие, поэтому масса мозга слона, несмотря на ее величину, составляет лишь $\frac{1}{1000}$ часть массы его тела, а у слона и того меньше — всего $\frac{1}{10000}$ часть.

Только два вида млекопитающих могут в этом смысле не только соревноваться с человеком, но и превосходить его — это дельфины и представители мелких китообразных, так называемые морские свиньи (не путать с морскими свинками. — *Примеч. пер.*). Некоторые из них по весу не тяжелее человека, но масса мозга у них достигает 1700 граммов, помимо этого в нем больше извилин, чем в человеческом.

Однако на основании только того, что удельная масса мозга у дельфина больше, чем у человека, нельзя делать вывод, что дельфин разумнее человека. Помимо размеров мозга важна еще и его внутренняя организация. Мозг дельфина, как и мозг неандерталь-

ца, может быть больше сориентированным в направлении того, что мы называем *низшими функциями*.

Единственный надежный способ оценить уровень интеллекта дельфина — это эксперимент. Некоторые исследователи, из которых особенно хочется выделить Джона Лилли, убеждены, что разум дельфинов сравним с разумом человека, что речевое общение между собой у дельфинов и морских свинок столь же сложное, сколь и человеческое. Эти ученые даже не исключают возможности межвидового общения людей и дельфинов.

Если разум дельфинов действительно высок, то, вероятнее всего, при адаптации к жизни в воде они потеряли благоприятную возможность направить силу интеллекта на подчинение окружающей среды. Ведь под водой нельзя пользоваться огнем, а именно умение пользоваться огнем выделило человека из остальных животных. Но это не все, более существенным является тот факт, что необходимость быстро передвигаться в такой вязкой среде, как вода, привела к развитию обтекаемой формы тела у этих животных, что, по сути, исключило возможность развития у них органов, аналогичных рукам и ногам человека, — органов, с помощью которых весьма удобно исследовать окружающую среду и управлять ею.

По эффективности мышления никто из земных существ в настоящее время и, скорее всего, в будущем также не сможет сравниться с *Homo sapiens*.

Правду говоря, корректная оценка мыслительной деятельности дельфинов — задача очень трудная, так как в настоящее время не существует удовлетворительных методов тестирования интеллектуальных способностей даже у индивидуальных представителей рода человеческого.

В 1904 году французские психологи Алфред Бине и Теодор Симон разработали способ оценки интеллекта путем анализа ответов на заранее разработанный список вопросов. В результате такого тестирования определялся *коэффициент интеллекта* (обычно для его обозначения используют аббревиатуру IQ, поэтому и называют *Ай Кью*-коэффициентом), который является отношением определяемого с помощью теста интеллектуального возраста (развития) к хронологическому возрасту, умноженным на 1000 (для того, чтобы избавиться от десятичных дробей). Общественность узнала о таком способе оценки интеллекта, главным образом, благодаря работам американского психолога Левиса Мэдисона Термана.

Однако эти тесты были весьма несовершенны, так как не учитывали особенностей среды, в которой рос человек. Так, например, простой вопрос о вспашке земли мог поставить в тупик весьмамышленого городского мальчугана, а совсем несложный вопрос об эскалаторе ставил в затруднительное положение не менее мысленного сына фермера. Оба этих вопроса оказались

бы весьма затруднительными для весьма развитого в интеллектуальном отношении аборигена Австралии, зато тот же самый австралиец легко справился бы с вопросом, касающимся бумеранга, — вопросом, который поставил бы американца в тупик.

Другой известный тест позволяет оценить более тонкие ассоциативные аспекты мышления. Этот тест швейцарский доктор Герман Роша разрабатывал с 1911-го по 1921 год. При этом тестировании интеллекта испытуемому предлагают преобразовать чернильные пятна на бумаге в образы. В зависимости от ассоциаций, которые вызывают у испытуемого бесформенные пятна в *тестах Роша*, можно сформировать суждение о его личности. Однако и в этом случае ни одно заключение не является убедительным.

Как ни странно, но почти все древние философы не придавали большого значения органу, который кроется под черепом у человека. Аристотель рассматривал мозг как нечто вроде кондиционера воздуха, предназначенное для охлаждения крови на тот случай, если она перегреется. Представитель следующего поколения философов Герофил из Хаседона, впоследствии живший в Александрии, верно рассматривал мозг как место сосредоточения разума, однако ошибочные представления Аристотеля, пользовавшегося большим авторитетом, довели над мнением кого бы то ни было.

Древние и средневековые мыслители в качестве органа, ответственного за эмоции и личностные качества человека, обычно рассматривали кто — сердце, кто — печень или селезенку (отсюда и выражения «разбил сердце», «желчный человек» и т. п.).

Первым, кто внес в изучение мозга свежую струю, стал английский врач и анатом Томас Виллис, живший в XVII веке. Он обнаружил нервы, которые шли к мозгу. Позднее французский анатом Феликс Вик д'Азир составил приблизительную анатомическую схему строения самого мозга. Однако первым, кто стал на истинный путь, ведущий к раскрытию тайны функционирования нервной системы, был швейцарский физиолог XVIII века Албрехт фон Галлер.

Фон Галлер обнаружил, что сокращение мышцы можно вызвать воздействуя не только на саму мышцу, но и на нерв, который подходит к ней. Причем раздражение нерва приводит к более эффективному ее сокращению. Помимо того, исследователь показал, что сокращение мышцы происходит произвольно, его можно вызвать даже после того, как организм умер. Фон Галлер также показал, что чувствительность органов и тканей определяется функционированием нервной системы: после перерезки нервных волокон, имеющих разветвления в ткани, эта ткань не отвечала на болевое раздражение. Из всего этого ученый сделал

вывод, что мозг посредством нервов получает чувствительные импульсы, а затем, опять же посредством нервов, посылает мышце сигнал, заставляющий ее сократиться. Он предположил, что все нервы организма собираются в едином центре, находящемся в глубине головного мозга.

В 1811 году австрийский врач Франц Иосиф Галл обратил внимание на *серое вещество*, покрывающее головной мозг, которое отличалось по цвету от *белого вещества* (белое вещество мозга состоит преимущественно из волокон, отходящих от тел нервных клеток; эти волокна имеют белую окраску, так как покрыты жировой оболочкой). Галл предположил, что нервы не собираются в центре мозга, как считал Галлер, а идут к определенной области серого вещества, которое, по его мнению, было главной координирующей частью головного мозга. Галл считал, что различные участки коры мозга отвечают за получение чувствительных импульсов от различных частей тела, они же посылают ответные импульсы к определенным органам и тканям.

Если определенные области коры ответственны за определенные свойства мышления, то было совершенно естественным предположить, что степень развития этих областей отражает характер и образ мышления личности. Поэтому Галл высказал точку зрения, что, прощупав череп человека, проанализировав все выпуклости и впадины на нем, можно определить, какая часть головного мозга у него развита больше, а какая меньше, и на основании этого можно судить, какой он, этот человек: великодушный, развращенный, склонный к преступлениям или какой-либо еще. На основании подобных умозаключений последователи Галла даже создали псевдонауку *френологию*, которая была весьма популярна в XIX веке. Думается, что ее сторонников можно отыскать и сегодня. (Хотя Галл и его последователи считали высокий лоб и правильный куполообразный череп признаками интеллекта — некоторые и сегодня так считают, сам он обладал мозгом весьма небольшим: масса мозга Галла была примерно на 15 процентов ниже средней.)

Несмотря на то что френология как наука не состоялась, идеи Галла относительно специализации функций отдельных частей мозга оказались верными. Еще до того, как ученые начали проводить специальные исследования, было известно, что повреждение отдельных частей мозга может вызвать нарушение определенных функций организма. В 1861 году французский хирург Пьер Поль Брока в результате длительных посмертных исследований мозга показал, что у больных, страдавших *афазией* (неспособностью говорить или понимать речь), обычно наблюдалось органическое повреждение в определенной области головного мозга (эта область впоследствии получила название *зоны Брока*).

Позднее, в 1870 году, немецкие ученые Густав Фритц и Эдуард Гитциг, стимулируя отдельные участки головного мозга и

наблюдая за тем, какие мышцы сокращаются в ответ, начали составлять схему зон мозга, ответственных за ту или иную функцию. Полвека спустя швейцарский физиолог Вальтер Рудольф Гесс существенно усовершенствовал их методику, за что в 1949 году был удостоен Нобелевской премии в области медицины и физиологии.

С помощью этих методов было установлено, что в стимуляции произвольно сокращающихся мышц участвуют специальные зоны коры. Этим зонам впоследствии было дано название *двигательных* (или *моторных*) *зон*. Оказалось, что мышцы туловища *проецируются* в двигательную зону коры в перевернутом виде: верхние участки моторной зоны, расположенные в верхней части головного мозга, отвечают за сокращение мышц нижних стопы и голени, по мере продвижения по двигательной зоне вниз появляются зоны стимуляции мышц бедра, затем туловища, затем рук и кистей и, наконец, мышц шеи и головы.

За двигательной зоной в коре расположена другая область, которая получает сигналы от чувствительных нервов, поэтому эту область называли *чувствительной зоной*. Как и в случае двигательной зоны, различные области тела проецируются в чувствительную зону в перевернутом виде: в самой верхней части расположен участок, ответственный за чувствительность пальцев стопы, затем, по мере продвижения по зоне вниз, следуют участки, ответственные за чувствительность бедра, туловища, шеи, руки, кисти, лица и, в самом низу, языка.

В обеих зонах, двигательной и чувствительной, площадь участка коры, на который проецируются различные части тела, пропорциональна не величине этих частей, а их функциональной нагрузке. Так, например, в чувствительной зоне участок, отвечающий за губы, язык и кисти рук, гораздо больше по размеру, чем участок, отвечающий за чувствительность всех остальных частей тела, вместе взятых. (А в двигательной зоне коры головного мозга область, ответственная за мышцы стопы, значительно больше области, ответственной за движение туловища и ног, вместе взятых. — *Примеч. пер.*).

Если к двигательной и чувствительной зонам добавить области коры, предназначенные, главным образом, для получения сигналов от основных органов чувств — глаз и ушей, — то все равно останется значительная поверхность коры головного мозга, функция которой остается неизвестной.

И эта неопределенность даже породила расхожее мнение, что человек, дескать, использует свой мозг лишь на одну пятую часть его возможностей. Это конечно же не так. Правильнее говорить, что мы знаем предназначение только одной пятой части мозга, что же касается остальных четырех пятых его части, для чего они нужны — мы не знаем. Наверное, не следует ожидать от какой-либо четко организованной структуры того, что все ее функ-

ции проявляются явно, налицо. Предположим, некая строительная фирма возводит небоскреб. Было бы нелепо утверждать, что строительством здания занята только пятая часть сотрудников фирмы — тех, кого мы видим на строительной площадке, кто возводит коммуникации, устанавливает металлические конструкции, прокладывает электрические кабели, монтирует оборудование и т. п. Люди, думающие подобным образом, совершенно игнорируют управляющих, секретарей, клерков, прорабов, технических работников и многих других сотрудников фирмы. Примерно так же происходит и в мозгу: большая часть его занята «вспомогательной» работой, которая заключается в сборе информации, поступающей от органов чувств, анализу этой информации, принятию решений: какие сигналы можно игнорировать, а на какие следует ответить и как именно на них ответить.

В коре головного мозга существуют *ассоциативные зоны*, одни из них предназначены для звуковых, другие — для зрительных, третьи — для каких-либо других восприятий. Но даже если включить в сумму и эти ассоциативные зоны, то все равно в коре головного мозга останется область, функция которой остается неизвестной. Этот участок расположен сразу же за передним мозгом, и называют его *префронтальной* (предлобной. — *Примеч. пер.*) *зоной*. Поскольку функция этой зоны не определена, ее еще называют *молчащей*. При операциях по поводу опухолей головного мозга часто удаляют значительную часть префронтальной зоны (если опухоль, хотя бы частично, там расположена), и удаление этой части головного мозга обычно существенно не сказывается на личностных качествах прооперированного, хотя и, безусловно, префронтальную область мозга нельзя рассматривать как бесполезную массу нервной ткани.

Можно даже предположить, что эта зона, наоборот, является самой важной частью мозга — вспомните, развитие нервной системы шло по пути накопления нервной ткани в передней области мозга и усложнения именно этой его части. И тогда префронтальную зону следует рассматривать как наиболее молодое образование головного мозга, в большей степени характерное для человека.

В 30-х годах XX века у португальского хирурга Антонио Эгоса Мониза возникла идея хирургического лечения больных с расстройствами психики. Идея заключалась в том, чтобы беспомощному душевнобольному отсечь префронтальные зоны от остальной части мозга. Подобная радикальная мера, по мнению врача, должна была избавить пациента от части ассоциаций, которые он накопил в своем мозгу в течение жизни и которые, по всей видимости, неблагоприятно сказывались на его мышлении. Частичное избавление от накопленных ассоциаций, как считал Мониз, позволило бы пациенту начать все заново с «новым» мозгом, тем, который у него остался. Первую подобную операцию — она

называется *префронтальная лоботомия* — впервые произвели в 1935 году; в ряде случаев она действительно оказалась полезной. За разработку хирургического метода лечения больных с расстройствами психики Мониз (совместно с В.Р. Гессом) в 1949 году получил Нобелевскую премию по медицине и физиологии. Правда, широкого распространения такой подход в лечении психиатрических заболеваний не получил, и сегодня префронтальная лоботомия гораздо менее популярна, чем когда-либо — увы, зачастую лечение болезни приносит больному гораздо больше вреда, чем сама болезнь.

Головной мозг поделен на два *полушария*, которые соединяются плотным образованием, называемым *мозолистым телом*. По сути, оба полушария являются отдельными органами, действующими как одно целое, благодаря нервным волокнам, проходящим в мозолистом теле и координирующим действия обоих полушарий. Но потенциально каждое полушарие остается независимым.

Эта ситуация несколько напоминает ситуацию с глазами. Оба наших глаза функционируют как единое целое, но если один глаз закрыть повязкой, то второй в достаточной степени удовлетворит наши потребности в зрительном восприятии окружающего. Аналогично, если удалить у подопытного животного одно полушарие, то оно не превратится в безмозглое существо — второе полушарие научится выполнять функции обоих.

Обычно каждое полушарие отвечает за свою часть тела: левое полушарие головного мозга — за правую половину тела, правое полушарие — за левую. Если полушария сохранить, но перерезать соединение между ними — мозолистое тело, — то координированность действий между обоими полушариями полностью нарушится и правая и левая половины тела станут контролироваться в значительной степени независимо. Иными словами, мы получим случай, когда у животного будут функционировать одновременно как бы два мозга.

Если проделать подобную операцию на обезьянах (при этом для полной уверенности в том, что каждый глаз соединен только с одним полушарием, дополнительно следует проделать небольшую операцию и на зрительном нерве), то можно научить каждый глаз животного выполнять свою задачу. Если перед такими обезьянами размещать несколько мисок, закрытых крышками, из которых только в одной будет находиться пища, то животные быстро обучаются правильно выбирать миску с пищей, если крышку на этой миске пометить каким-либо знаком, например крестиком. После нескольких тренировок обезьяна будет воспринимать крестик на крышке как знак того, что под ней лежит банан. Если такое же обучение проводить на таких же животных (с разделенными полушариями), но так, чтобы при этом только один глаз обезьяны, допустим правый, был открыт, а левый — постоянно закрыт, то обезьяна также быстро научится правиль-

но выбирать миску с пищей. Если после этого у обезьяны закрыть правый глаз и открыть левый, то она не сможет сразу найти пищу и сделает это только после нескольких проб и ошибок. То есть у оперированного животного вырабатывается однополушарная память (в данном примере обучалось только правое полушарие). Если каждый глаз обучить выполнять несовместимые задачи и затем открыть их оба, деятельность обезьяны, направленная на выполнение этих задач, будет чередоваться, так как полушария будут проявлять свою активность по очереди.

Естественно, в такой ситуации, когда на равных правят двое, возможны путаница в действиях животного и возникновение конфликтов. Однако этого не происходит, так как одно из соединенных вместе полушарий является доминантным (у человека это левое полушарие). Извилина Брока, которая контролирует речь, как раз и находится в левом полушарии. *Гностическая зона*, которая является общей ассоциативной зоной, также находится в левом полушарии. Поскольку левое полушарие контролирует двигательную функцию правой половины тела, то нет ничего удивительного в том, что большинство людей — правши (правда, у левшей доминантным является также левое полушарие).

Полушария — это еще не весь головной мозг. Существуют участки серого вещества, расположенные под корой головного мозга. Это *базальные ганглии*, в число которых входит *таламус*. Таламус действует как центр, воспринимающий все виды чувствительности. Наиболее сильные чувствительные стимулы, такие, как боль, большой перепад температуры в ту или иную сторону, неприятные прикосновения, отфильтровываются. Чувствительные стимулы средней величины, идущие от мышц, — мягкие прикосновения, средние перепады температуры — пропускаются в чувствительную зону коры. Все происходит так, будто работу со стимулами средней величины таламус доверяет коре, где они сначала анализируются, и только после анализа, через некоторое время, организм реагирует на этот стимул. С грубыми чувствительными стимулами, на анализ которых нет времени, поскольку они требуют быстрых ответов, таламус более или менее автоматически справляется сам.

Ниже таламуса расположен *гипоталамус* — место, в котором сосредоточены различные центры, осуществляющие контроль над всем организмом. Вышеупомянутый «аппетат», о котором говорилось в главе 14, осуществляющий контроль над аппетитом человека, находится как раз в гипоталамусе, здесь же осуществляется и регуляция температуры тела. Посредством гипоталамуса мозг контролирует активность гипофиза (см. главу 14); это указывает на то, что оба типа контроля над функциями организма — посредством нервной системы и посредством эндокринной системы (через гормоны) — могут объединяться в единую генеральную управляющую систему.

В 1954 году физиолог Джеймс Олдс открыл другую, несколько неожиданную функцию гипоталамуса. Оказалось, что в нем существует особый участок, при стимуляции которого животное испытывает чувство огромного удовольствия — это так называемый *центр удовольствия*. Если крысе в центр удовольствия поместить электроды, которые она сможет сама замыкать, животное быстро обучается замыкать их — доставлять себе удовольствие, — и делает это до 8 000 раз в час, и так на протяжении нескольких часов и даже дней, прерываясь только на прием пищи, половые контакты и сон. По всей видимости, все приятное, что мы ощущаем в жизни, является приятным настолько, насколько оно возбуждает центр удовольствия. Прямая искусственная его стимуляция вполне может заменить почти все жизненные удовольствия.

В гипоталамусе также локализована область, которая регулирует цикл сна и бодрствования; частичное разрушение этой зоны вызывает у животного состояние подобное спячке. Точный механизм, позволяющий гипоталамусу выполнять свои функции, неизвестен. Согласно одной из теорий, гипоталамус посылает сигналы в кору, которая в ответ, в свою очередь, посылает сигналы обратно, то есть происходит взаимная стимуляция двух отделов мозга. Длительное бодрствование нарушает их координацию, в результате чего человеку хочется спать и он засыпает. Резкий стимул (тряска за плечо, громкий шум или, наоборот, внезапное прекращение постоянного шума) вызывает его пробуждение. В отсутствие подобных стимулов координация активности коры и гипоталамуса со временем восстанавливается, тогда сон самопроизвольно заканчивается или становится таким поверхностным, что любой, даже самый незначительный стимул, из тех, которые постоянно проявляются в обычной жизненной ситуации, становится достаточным, чтобы разбудить человека.

Во время сна человек видит сновидения — зрительно представляет и переживает события, более или менее напоминающие реальные. Сны видят все; люди, утверждающие, что проводят ночь без сновидений, как правило, просто не помнят своих снов. Американский физиолог У. Демент, изучая спящих субъектов, обратил внимание на то, что во время сна наблюдаются периоды, когда глазные яблоки испытуемых начинают быстро двигаться — наступает фаза так называемого *быстрого сна*. Фаза быстрого сна длится несколько минут, во время этого периода частота дыхания, частота сердечных сокращений, а также давление крови повышаются до значений, характерных для состояния бодрствования. В сумме на быстрый сон приходится около одной четвертой части времени, которое занимает весь сон. Если во время быстрого сна спящего разбудить, то он, как правило, скажет, что видел сон. Более того, если спящего человека каждый раз будить в период быстрого сна, то утром он будет чувствовать себя невыспавшим-

ся; если повторять это на протяжении нескольких ночей подряд, психологический дискомфорт и состояние утомленности будут нарастать — как будто причиной этому явилось лишение человека возможности видеть сны.

Поэтому весьма резонно предположить, что сновидения играют важную роль в работе мозга. Считается, что во время сновидений мозг перебирает все, что произошло за день, и удаляет из памяти незначительные повседневные события, которые только перегружают мозг и тем самым снижают эффективность его работы. Сон — самое подходящее время для проявления деятельности такого рода, ведь проделанная ночью работа облегчит мозгу выполнение многих функций во время бодрствования. Невозможность выполнить эту задачу в течение длительного времени (из-за постоянного прерывания быстрого сна) приводит к такому засорению мозга, что он попытается освободиться от ненужного во время бодрствования — как следствие у человека могут возникнуть галлюцинации (можно сказать, сновидения в состоянии бодрствования) и другие неприятные симптомы.

Фаза быстрого сна обнаруживается и у новорожденных, причем у них она занимает около половины времени сна. Возможно, в младенчестве быстрый сон важен для другого: он способствует развитию у младенцев нервной системы. Фаза быстрого сна, помимо человека, выявлена также у других млекопитающих.

Ниже головного мозга располагаются меньший по размеру мозжечок, также разделенный на два мозжечковых полушария, и ствол мозга, который, сужаясь, постепенно переходит в спинной мозг — нервный тяж длиной около 45 сантиметров, расположенный внутри спинномозгового канала позвоночника.

Спинной мозг состоит из серого вещества, расположенного в центре, и белого вещества, расположенного снаружи. К спинному мозгу подходят нервы, идущие от внутренних органов — сердца, легких, желудочно-кишечного тракта, органов малого таза, — органов, находящихся под более или менее независимым от воли человека контролем нервной системы.

При повреждении спинного мозга вследствие травмы или заболевания та часть тела, которая иннервируется сегментами спинного мозга, расположенными ниже места повреждения, перестает функционировать, говоря бытовым языком, «отключается». В этой части отсутствует чувствительность, в ней не проявляются и двигательные реакции — эта часть тела парализована. При повреждении спинного мозга в области шеи наступает смерть вследствие паралича дыхательных мышц груди и как итог этого — остановка дыхания. Отсюда и возникло выражение «сломать себе шею», по этой же причине повешение является способом быстрой казни. При переломе шеи смерть наступает из-за поврежде-

ния спинного мозга, а не из-за нарушения целостности этого отдела позвоночника.

Совместное действие всех отделов центральной нервной системы — головного мозга, мозжечка, ствола мозга и спинного мозга — точно скоординировано. Белое вещество спинного мозга состоит из пучков нервных волокон, тянущихся вверх и вниз вдоль спинного мозга, образуя единое целое. Волокна, которые тянутся от головного мозга вниз, образуют *нисходящие пути*, а волокна, по которым импульсы по спинному мозгу проходят в головной мозг, образуют *восходящие пути*.

В 1964 году специалисты из кливлендской городской главной больницы доложили результаты исследований, согласно которым изолированный мозг обезьян резус способен жить еще в течение 18 часов после удаления его из организма. Это наблюдение положило начало широким исследованиям метаболизма мозга. При этом исследователи пропускали через кровеносные сосуды мозга питательную среду и сравнивали состав среды, входящей в мозг, с составом той же среды, выходящей из него.

Год спустя эти же исследователи пересадили голову одной собаки на тело другой, соединив сосуды, питающие мозг, — в этом эксперименте трансплантированная голова не только жила, но и функционировала в течение двух дней. В 1966 году ученые уже умели на 6 часов понижать температуру мозга собаки до точки, близкой к замерзанию, после чего при нагревании до исходной температуры в мозгу восстанавливалась нормальная химическая и электрическая активность. Мозг оказался гораздо более прочным органом, нежели предполагали ранее.

Как функционирует нерв

Не надо думать, что нервы соединяют собой только различные отделы центральной нервной системы. Точно таким же образом нервная система контролирует взаимодействие всех органов тела между собой. Нервные окончания входят в скелетные мышцы, в железы, в кожу, они добираются даже до пульпы зубов (тот, кто страдал зубной болью, знает это на собственном опыте).

Нервы, как морфологические образования, были известны еще с древних времен, но суждения об их структуре и функции долгое время оставались ошибочными. Еще в Средние века полагали, что нервы внутри полые и что по ним течет жидкость, которую трудно обнаружить. Более сложная теория была создана Галеном. Согласно его теории, в организме существуют три разные жидкости: одна из них течет по венам, другая — по артериям, третья — по нервам. Жидкость, текущая по нервам, — ее называли «животным спиртом» — считалась наиболее чистой.

Гальвани показал, что скелетные мышцы и нервы можно стимулировать электрическим разрядом. Это открытие явилось отправной точкой целой серии исследований, которые доказали, что функционирование нервной клетки связано с электричеством — «жидкостью», куда более тонкой, чем мог себе представить Гален.

Серьезные исследования функционирования нервов начал проводить в начале XIX века немецкий физиолог Йоганнес Петер Мюллер, который, помимо всего прочего, показал, что стимуляция чувствительных нервов, каким бы способом ее ни проводили, всегда приводит к воспроизведению только того вида чувствительности, за который отвечает этот нерв. Например, при стимуляции зрительного нерва человек всегда увидит световое пятно, независимо от того, стимулируется ли этот нерв самим светом или же он подвержен обычному механическому воздействию (например, при ударе в глаз из него «сыплются искры»). Этот факт служит хорошим примером того, что окружающий нас мир, может быть, в действительности вовсе не такой, каким мы его представляем, и контакт с ним есть не что иное, как контакт с набором специфических стимулов, которые наш мозг интерпретирует определенным, «правильным» в нашем понимании образом, и в этом случае такие стимулы являются полезной информацией, но бывают случаи (те же «звезды», которые сыплются из глаз), когда интерпретация стимулов бывает «неправильной» и соответственно бесполезной.

Изучение структуры нервных клеток значительно продвинулось вперед после того, как в 1873 году итальянский физиолог Камилло Гольджи разработал краситель тканей, одним из компонентов которого были соли серебра. Отличительной чертой этих красителей было то, что они хорошо прокрашивали нервные клетки: все детали их строения после окраски становились хорошо видимыми. С помощью новых красителей Гольджи смог показать, что нервы состоят из отдельных четко различимых клеток и что отростки одной клетки могут очень тесно контактировать с отростками другой, при этом они никогда не сливаются вместе. Между ними всегда существует узкая *синаптическая щель*. Тем самым Гольджи представил вещественные доказательства в пользу теории немецкого анатома Вильгельма фон Вальдейера, согласно которой вся нервная система состоит из отдельных нервных клеток, или *нейронов* (эта теория носила название *нейронной теории*).

Однако сам Гольджи, несмотря на результаты собственных исследований, ни разу не выступил в пользу нейронной теории. Окончательно эта теория утвердилась в 1889 году, когда испанский невролог Сантьяго Рамон Кайал, используя модифицированный краситель Гольджи, доказал, что между нервными клетками в сером веществе головного и спинного мозга существуют контакты. В 1906 году Гольджи и Рамон Кайал, хотя между ними и

существовали некоторые разногласия относительно деталей нейронной теории, поделили Нобелевскую премию в области медицины и физиологии.

Нервы, идущие к внутренним органам, образуют две системы: *симпатическую* и *парасимпатическую* (эти термины восходят еще к полумистическим представлениям Галена). Обе эти системы регулируют работу практически всех внутренних органов, оказывая на них, как правило, противоположное действие. К примеру, если симпатическая нервная система повышает частоту сокращений сердца, то парасимпатическая, наоборот, снижает ее; если при активации симпатических нервов секреция желудочного сока уменьшается, то активация парасимпатических нервов повышает ее и т. д. То есть спинной мозг вместе с подкорковыми центрами головного мозга регулирует работу внутренних органов автоматически, независимо от воли человека. В 90-х годах XIX века британский физиолог Джон Ньюпорт Лангли занимался детальным исследованием функционирования нервов, осуществляющих автоматический, то есть независимый от воли человека контроль над деятельностью внутренних органов, он назвал совокупность таких нервов *автономной нервной системой*.

Еще раньше, в 30-х годах XIX века, английский физиолог Маршалл Холл изучал поведенческие реакции другого типа, которые на первый взгляд кажутся произвольными, но в действительности осуществляются абсолютно автоматически. Если вы случайно прикасаетесь рукой к горячему предмету, вы моментально отдергиваете руку. Если бы ощущение высокой температуры проходило в головной мозг, то для того, чтобы тот проанализировал этот стимул, проинтерпретировал его, после чего послал указание руке не касаться источника тепла и прошло время — пока рука ждала указание, вы успели бы получить приличный ожог. Недумаящий спинной мозг осуществляет эту реакцию автоматически, что получается гораздо быстрее. Холл дал реакции такого рода название *рефлекс*.

Рефлекс осуществляется благодаря двум или более согласованно работающим нервам, которые образуют *рефлекторную дугу*. Простейшая рефлекторная дуга состоит из двух нейронов: чувствительного (который доставляет чувствительный стимул в *рефлекторный центр*, расположенный в центральной нервной системе, обычно в определенной точке спинного мозга) и двигательного (несущего двигательный сигнал от центральной нервной системы к скелетной мышце). Эти два нейрона могут быть соединены одним или несколькими *вставочными нейронами*. Особый вклад в изучение рефлексов и выяснение их роли в функционировании организма сделал английский невролог Чарльз Скотт Шеррингтон, которому за это в 1932 году была присуждена Нобелевская премия в области медицины и физиологии. Именно Шеррингтон в 1897 году придумал и ввел в обращение слово «синапс».

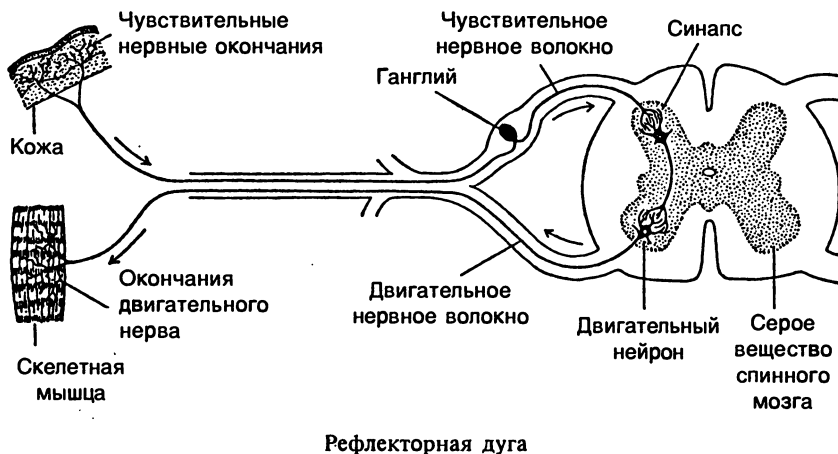
Быстрая скорость рефлекторных ответов и их однозначность (свойство, при котором определенный стимул вызывает определенный рефлекс) послужили основой методов, используемых в неврологии для оценки состояния нервной системы. Примером может послужить всем хорошо известный *коленный рефлекс*. Когда одна нога закинута на другую, внезапный несильный удар молоточком ниже коленной чашечки по ноге, которая находится сверху, вызывает ее быстрое ответное движение — нога на какой-то момент частично выпрямляется. Впервые этот феномен описал в 1875 году немецкий невролог Карл Фридрих Отто Вестфаль. Сам по себе коленный рефлекс маловажен для физиологии человека, но его исчезновение может свидетельствовать о серьезной патологии нервной системы, точнее, той ее части, на уровне которой осуществляется рефлекторная дуга.

Иногда случается наоборот: повреждение нервной системы приводит к появлению рефлексов, отсутствующих в норме. Если по подошве ступни провести чем-то острым, то пальцы ноги сгруппируются вместе и согнутся вовнутрь стопы — это нормальный рефлекс. При некоторых повреждениях центральной нервной системы рефлекторная реакция со стороны пальцев стопы меняется — большой палец в ответ на царапанье поднимается вверх, а остальные четыре веерообразно растопыриваются. Это так называемый *рефлекс Бабински*, названный по имени французского невролога Жозефа Франсуа Феликса Бабински, описавшего этот рефлекс в 1896 году.

У человека рефлексы подчиняются его воле. Вы можете изменить частоту дыхания: например, повысить ее в то время, когда частота проявления дыхательного рефлекса низкая или обычная. С другой стороны, жизнедеятельность низших типов животных более жестко управляется рефлексами; правда, следует отдать им должное: рефлексы у них гораздо более развиты, чем у человека.

Одним из прекрасных примеров этому является паук, плетущий паутину. Человек, наблюдающий за этим процессом, видит в действиях насекомого целенаправленность, наблюдателю никогда не придет в голову назвать тщательно выверенные действия паука рефлексом. Обычно такой тип рефлекторных реакций называют *инстинктивным* поведением. (Поскольку слово «инстинкт» часто используется не по назначению, биологи предпочитают пользоваться термином *врожденное поведение*.) А все дело в том, что нервная система паука с момента появления насекомого на свет настроена на выполнение этой деятельности. Определенные стимулы, можно сказать, «включают» нервные клетки, и насекомое начинает ткать паутину; каждый этап этого процесса является сигналом для следующего ответа, что обуславливает переход к следующему этапу плетения сети.

Глядя на замысловатый узор паутины, на то, как удивительно точно ее устройство соответствует назначению, никогда не поду-



маешь, что творец этой великолепной конструкции действовал совершенно непреднамеренно, без затраты на ее создание хоть сколько-нибудь малой доли интеллекта. Даже сам по себе факт, что такая сложная задача выполняется настолько совершенно и вместе с тем настолько точно, наводит на мысль, что интеллект здесь ни при чем. Здоровое мышление, с присущими ему сомнениями, колебаниями, взвешиванием альтернативных вариантов, непременно приведет к несовершенству конструкции; и если такие конструкции создавать ежедневно, то каждая из них непременно будет отличаться от предыдущих.

По мере развития интеллекта у животных все больше и больше исчезают природные инстинкты и врожденное умение делать что-либо. Тем самым, несомненно, теряется нечто ценное. Паук с первого раза сплетет свою поразительно сложную по структуре паутину, хотя он прежде не только не видел, как это делается, — он даже ни разу не видел и самой паутины. Полной противоположностью пауку в этом смысле является человек, который рождается полностью беспомощным, не имея почти никаких жизненных навыков. Родившийся ребенок автоматически может сосать грудь матери, плакать, если он голоден, — вот, пожалуй, и все. Каждый родитель знает, скольких трудов стоит ребенку овладеть самыми простыми формами правильного поведения. Но паук, как и всякое другое насекомое, хотя и с самого начала жизни является совершенным созданием, никогда не сможет выйти за рамки приписанного ему совершенства. Да, он плетет прекрасную паутину, но если по каким-либо причинам предопределенная заранее конструкция паутины окажется непригодной для какого-то конкретного случая, он не сможет ее изменить и сплести другую, более подходящую. Ребенок оттого, что он с рождения несовершенен, получает большие преимущества. Он может постепенно

учиться и, в лучшем случае, научиться чему-либо, и все, чему он научится, будет несовершенно. Но человек останется вариативным в своем несовершенстве, то есть он сможет в каждом конкретном случае выбирать, какой вариант действия, пусть несовершенного, является наиболее подходящим. Другими словами, человек утратил качества, которые с рождения обеспечивали бы ему комфортное и безопасное существование, но он полностью компенсировал эту потерю практически безграничной способностью приспосабливаться к изменяющимся условиям окружающей среды.

Исследования ученых, правда, показали, что не всегда между инстинктом и действием, обусловленным приобретенным опытом, можно провести четкую границу. Это можно продемонстрировать на следующем примере. Можно считать, что только что вылупившиеся из яйца цыплята или утята следуют за своей матерью благодаря инстинкту. Однако при ближайшем рассмотрении это оказывается не так.

Инстинктивно птенцы следуют не за своей матерью, а за всем, что более или менее похоже на их мать по форме и цвету, или за всем, что способно двигаться. В ранний период жизни эти создания будут следовать за любым объектом, обладающим перечисленными качествами, воспринимая их как мать. Именно так бывает всегда, но ведь так не должно быть! Другими словами, инстинктивным является следование за движущимся объектом, а понятие «мать» у юных птенцов появляется позже: они ему учатся. (Многое в открытии этой особенности поведения домашних птиц сделал австрийский натуралист Конрад Захарий Лоренц, который в своих экспериментах с гусятами сам оказался в роли матери: целый выводок послушно следовал за ученым, куда бы тот ни шел.)

Происходящему в определенный период жизни формированию четкого способа поведения в ответ на определенный стимул дали название *импринтинг*, или *запечатление*, а периоду формирования импринтинга — *критический период*. У цыплят период импринтинга образа матери выпадает на промежуток между 13 и 16 часами после того, как они вылупятся из яйца. У щенков этот период приходится на 3—7 недель после рождения, именно в это время в сознание юной собаки запечатляются те формы поведения, которые мы рассматриваем как нормальное собачье поведение.

Импринтинг — это наиболее примитивная форма приобретения опыта, которое происходит столь произвольно, в такой короткий промежуток времени и в настолько обычных условиях, что мы его ошибочно принимаем за инстинкт.

Логически объяснить импринтинг нетрудно: он позволяет молодому организму легче приспособиться к новой жизни. Представим себе, что цыпленок в действительности обладал бы способ-

ностью распознавать свою настоящую мать. В таком случае любая причина, которая лишила бы юное создание матери в первые дни жизни, оказалась для него роковой. В действительности дело обстоит иначе: вопрос материнства для цыпленка остается открытым в течение нескольких часов, и за это время он может запечатлеть в себе в качестве образа матери образ любой оказавшейся поблизости курицы, она впоследствии и станет его приемной матерью.

Гальвани еще накануне XIX века экспериментально доказал, что между электричеством и функционированием мышц и нервов существует определенная связь.

Установление электрической природы возбуждения скелетной мышцы привело к практическому применению этого свойства в медицине. Во многом этому способствовал голландский физиолог Виллерн Эйнтховен. В 1903 году он создал особо чувствительный гальванометр, настолько чувствительный, что с его помощью можно было фиксировать изменения электрического потенциала сокращающейся сердечной мышцы. В течение трех последующих лет Эйнтховен записывал изменения потенциала сердца при его сокращении (эта запись называется *электрокардиограммой*) и сопоставлял особенности пиков и впадин с различными типами сердечных патологий.

Электрическую природу нервного импульса обнаружить было труднее, поначалу считали, что возникновение электрического тока и распространение его по нервному волокну обусловлены химическими изменениями в нервной клетке. Поводом для такого чисто спекулятивного суждения послужили результаты экспериментов немецкого физиолога XIX века Эмиля Дю Буа-Раймона, который с помощью высокочувствительного гальванометра смог зарегистрировать в нерве при его стимуляции слабенький электрический ток.

По мере развития техники исследования электрической природы нервного импульса становились все более изящными. Помещая крошечные электроды (*микроэлектроды*. — *Примеч. пер.*) на различные участки нервного волокна, исследователи с помощью осциллоскопа научились регистрировать не только величину возникающего при возбуждении нерва электрического потенциала, но и его продолжительность, скорость распространения и прочие электрофизиологические параметры. За работы, сделанные в этой области, американские физиологи Джозеф Эрлангер и Герберт Спенсер Гессер в 1944 году были удостоены звания лауреатов Нобелевской премии в области медицины и физиологии.

Если на нервную клетку подавать электрические импульсы возрастающей силы, то вначале, пока сила импульса не достигнет определенной величины, клетка на эти импульсы реагирует

вать не будет. Но как только сила импульса достигнет определенного значения, клетка внезапно возбуждается и тут же возбуждение начнет распространяться по нервному волокну. Нервная клетка имеет определенный порог возбуждения, и на любой стимул, превышающий этот порог, она отвечает возбуждением только определенной интенсивности. Таким образом, возбудимость нервной клетки подчиняется закону «все или ничего», и во всех нервных клетках организма природа возбуждения одна и та же.

Каким же образом в основе столь сложных процессов жизнедеятельности, как, например, зрительное восприятие или движения пальцев при игре на скрипке, может лежать столь простой и универсальный принцип «либо да, либо нет»? Создается впечатление, что нерв, например зрительный, состоит из нескольких нервных волокон, часть из которых может возбуждаться, другая часть — нет, что скорость последовательного возбуждения волокон может быть быстрой, а может быть медленной — и все это формирует довольно сложную систему, которая может изменяться в зависимости от изменения стимула. (За достижения в области физиологии нервной системы английский физиолог Эдгар Дуглас Эдриен и Ч.С. Шеррингтон в 1932 году получили Нобелевскую премию в области медицины и физиологии.) Подобные флуктуации активности системы постоянно анализируются головным мозгом и соответствующим образом интерпретируются. Однако как происходит интерпретация сигнала и каким образом сигнал трансформируется в ответную реакцию органа (например, сокращение мышц или активация железистой клетки), оставалось неизвестным.

Возбуждение самой нервной клетки обусловлено движением ионов через клеточную мембрану. Обычно внутри клетки содержится избыток ионов калия, тогда как снаружи ее обнаруживается избыток ионов натрия. В покое клетка не выпускает из себя ионы калия и не впускает в себя ионы натрия, не давая сравняться концентрациям этих ионов по обе стороны мембраны. Градиент ионов клетка поддерживает при помощи работы натриевого насоса, который выкачивает ионы натрия наружу по мере их поступления внутрь клетки через мембрану. Различная концентрация ионов натрия по обе стороны клеточной мембраны создает на ней разность потенциалов величиной примерно в $\frac{1}{10}$ вольта. При стимуляции клетки разность потенциалов падает, это и означает возбуждение клетки. Клетка не может реагировать на следующий стимул, пока разность потенциалов между наружной и внутренней сторонами мембраны не восстановится вновь. Этот период «отдыха» занимает несколько тысячных долей секунды, и называется он *рефрактерным периодом*.

После возбуждения клетки импульс начинает распространяться по нервному волокну. Распространение импульса — это серия последовательных возбуждений фрагментов нервного волокна,

когда возбуждение предыдущего фрагмента вызывает возбуждение следующего, и так до самого окончания волокна. Распространение импульса происходит только в одном направлении, поскольку предыдущий фрагмент, который только что был возбужден, повторно возбудиться сразу же не может, так как находится в стадии «отдыха».

То, что возникновение и распространение нервного импульса обусловлено изменением ионной проницаемости мембраны нервной клетки, впервые доказали британские нейрофизиологи Алан Ллойд Ходжкин и Эндрю Филдинг Хаксли, а также австралийский исследователь Джон Кэрю Икклес.

Что происходит после того, как импульс, распространяющийся по нервному волокну, достигает нервного окончания и синаптической щели — зазора между двумя нервными клетками? Как возбуждение передается с нервного окончания одной нервной клетки на другую клетку? Оказывается, из нервного окончания при его возбуждении выделяется химическое вещество, которое проходит через синаптическую щель и достигает другой клетки. Взаимодействуя с ее мембраной, это вещество вызывает возбуждение этой клетки. Подобным же образом импульс может переходить и со второй клетки на третью.

Одним из известных в то время химических веществ, которое воспроизводит эффекты возбуждения нервных клеток, является гормон адреналин. Он возбуждает нервные волокна симпатической нервной системы, которая снижает пищеварительную активность желудочно-кишечного тракта и ускоряет частоту дыхания и частоту сокращений сердца. Когда человек гневается или боится чего-либо, его надпочечники начинают выбрасывать в кровь большие количества адреналина, и тогда частота сокращений сердца увеличивается, что, в свою очередь, заставляет кровь быстрее двигаться по телу, — в результате доставка кислорода тканям организма улучшается; снижение пищеварительной активности желудочно-кишечного тракта экономит энергию, столь необходимую более жизненно важным в критической ситуации органам: сердцу, мозгу и скелетным мышцам.

Американские психологи и одновременно офицеры полиции Огастес Ларсен и Леонард Килер использовали эту особенность организма при создании прибора, который фиксировал изменения артериального давления, частоты пульса, частоты дыхания и интенсивности потоотделения, вызываемые изменением эмоционального состояния. В 1921 году этот прибор — *полиграф* — был создан, с его помощью можно было определить эмоциональное напряжение человека, когда тот говорил неправду. Дело в том, что любой достаточно нормальный человек, когда лжет, боится, что правда выйдет наружу. Эта боязнь всегда сопровождается выделением адреналина, который изменяет указанные выше физиологические характеристики эмоционального состояния чело-

века. Несмотря на то что использование этого прибора не давало 100-процентной гарантии выявления правдивости показаний, он приобрел известность как *детектор лжи*.

Когда человек находится в обычном состоянии, окончания симпатических нервов сами выделяют очень похожее по химической структуре и биологическим свойствам на адреналин вещество, которое называется *норадреналин*. Норадреналин является посредником между двумя клетками, он нужен для того, чтобы «перенести» импульс через синаптическую щель и передать возбуждение с симпатического нерва на другую клетку.

В начале 20-х годов XX века английский физиолог Генри Дэйл и его немецкий коллега Отто Лёви (впоследствии, в 1930 году, они были удостоены звания лауреатов Нобелевской премии в области медицины и физиологии) изучали химическое вещество, которое выполняет такую же функцию в других нервных волокнах, не относящихся к симпатической нервной системе. Это вещество называется *ацетилхолин*. Способность ацетилхолина передавать нервный импульс на скелетную мышцу связана с повышением проводимости ионов натрия через мембрану. Выделившийся из нервного окончания ацетилхолин быстро подвергается разрушению ферментом, название которого *холинэстераза*. Действие всех веществ, ингибирующих этот фермент, нежелательным образом сказывается на функционировании синапса вплоть до его полного блока — потери способности проводить нервный импульс. Такими ингибиторами холинэстеразы являются *нервно-паралитические газы*, которые, заблокировав проведение нервного импульса на сердечную мышцу, могут вызвать остановку сердца и быструю смерть. Такие вещества в свое время нашли применение в качестве химического оружия, в настоящее время они используются в качестве инсектицидов, что, несомненно, куда менее безнравственно.

Если известно, что проведение нервного импульса имеет электрическую природу, то не является ли возможным, исследуя электрическую активность головного мозга, «прочитать» если не мысли, то хотя бы программы, заложенные в нем? В 1927 году немецкий психиатр Ганс Бергер доложил результаты проведенной им работы. Размещая электроды на различных участках головы и регистрируя изменения электрической активности головного мозга, он обнаружил, что эта активность волнообразно ритмически изменяется. Наиболее выраженные ритмические изменения он назвал *альфа-волнами*.

В альфа-волнах электрический потенциал изменяется в пределах 20 микровольт с частотой около 10 колебаний в секунду. Альфа-ритм наиболее четко проявляется, когда человек отдыхает и глаза его закрыты. Если человек открывает глаза и перед ним возникает невыразительная картина полуосвещенного помещения, лишенная ярких цветовых пятен и четких очертаний

предметов, то альфа-волны сохраняются. Если же перед глазами появляется обычная красочная картина окружающего мира, то альфа-ритм исчезает и появляются другие, более быстрые *бета*-, *дельта*- и *тета*-волны.

Запись, отражающая изменение электрической активности мозга, получила название *электроэнцефалограмма*, или, в виде аббревиатуры, *ЭЭГ*. С той поры, как ученые научились записывать электроэнцефалограммы, они начали интенсивно изучать электрическую активность мозга. Выяснилось, что каждый человек имеет свою, индивидуальную *ЭЭГ*, вид которой изменяется между двумя крайними состояниями индивидуума: когда он возбужден и когда спит. Хотя с помощью электроэнцефалограмм еще и не научились читать мысли человека или исследовать механизмы его мышления, метод электроэнцефалографии часто помогает в диагностике серьезных нарушений функций мозга, особенно это касается эпилепсии. Этот метод также позволяет определить локализацию повреждения и опухоли в мозгу.

Начиная с 60-х годов XX века помощь исследователям в расшифровке электроэнцефалограмм стали оказывать компьютеры. Можно заранее сказать, что любое воздействие на человека незначительным изменением какого-нибудь внешнего фактора обязательно вызывает реакцию со стороны головного мозга, и в начальный момент воздействия это отражается на электроэнцефалограмме. Однако активность мозга весьма разнообразна, поэтому незначительные изменения на *ЭЭГ* могут быть незаметны. Тем не менее если подобное воздействие повторить несколько раз, то специально разработанные компьютерные программы смогут усреднить несколько энцефалограмм и найти изменение, вызванное даже незначительным внешним воздействием.

В 1964 году американский психолог Манфред Клайнс опубликовал данные, согласно которым с помощью одного только анализа пиков *ЭЭГ* можно определить цвет предмета, находящегося в центре внимания человека. Английский нейрофизиолог Уильям Грей Уолтер опубликовал данные, свидетельствующие, что процесс обучения человека также сопровождается появлением характерных волн *ЭЭГ*. Они возникают в то время, когда у испытуемого появляется повод сделать вывод, что ему собираются дать задание, которое заставит его думать или действовать. Уолтер назвал эти волны «волнами ожидания». Согласно результатам проведенных им исследований, «волны ожидания» не появляются у детей до трехлетнего возраста, они также отсутствуют у больных с некоторыми психическими расстройствами.

В 1965 году Хосе Мануэль Родригес Дельгадо показал существование обратного явления: электрическая стимуляция определенных областей головного мозга способна вызвать определенные действия животного. Исследователь, стимулируя мозг подопытных животных с помощью радиосигналов, заставлял их ходить,

карабкаться на деревья, зевать, спать, спариваться, изменял их эмоции и т. д. Наиболее эффективным был пример, когда разъяренный бык во время очередной атаки на матадора вдруг резко остановился и спокойно побрел обратно.

Поведение человека

В отличие от физических явлений, таких, как, например, движение планет или ход луча света, поведение живых организмов никогда не может быть описано с помощью строгих законов природы. Многие исследователи упорно настаивают на том, что поведение человека не может быть объектом настоящей науки, что никогда, руководствуясь универсальными законами природы, невозможно объяснить или предугадать поведение человека в конкретной ситуации. Тем не менее сама-то жизнь не является исключением из правил природы, и можно привести массу доводов в пользу того, что поведение живого существа можно полностью объяснить, правда, при условии, что известны все факторы, воздействующие на это существо в тот или иной момент времени. Прошу обратить внимание на слова «при условии, что известны все факторы, воздействующие на это существо». В них и заключается основное препятствие для решения задачи: всех факторов учесть нельзя — их слишком много, и они слишком неоднозначны. Однако человеку не следует отчаиваться из-за того, что он никогда не сможет понять себя окончательно. Существует необъятный простор для все более глубокого познания сложности ментальности человека, и поскольку путь познания бесконечен, сколь бы длительным ни было наше путешествие, мы никогда не пройдем его до конца.

Но дело не только в том, что предмет познания труден — человек еще и долгое время не приступал к его изучению. Если физика достигла своего совершеннолетия в 1600 году, а химия — в 1775 году, то рождение куда более сложной науки, экспериментальной психологии, датируется 1879 годом, когда немецкий физиолог Вильгельм Вундт организовал первую лабораторию, предназначенную для изучения поведения человека. Вундта интересовали, главным образом, ощущения, испытываемые человеком, и способ познания им разнообразных граней окружающего мира.

Почти в то же самое время возникло и совсем другое направление психологии — исследование поведения человека как одного из винтиков в большом механизме промышленного производства. В 1881 году американский инженер Фредерик Уинслоу Тейлор занялся тем, что начал тщательно измерять время, необходимое для выполнения определенной производственной операции. В итоге он разработал метод, позволяющий организовать труд так, чтобы производство конечного продукта занимало ми-

нимальное время. Тейлор стал первым, кто начал использовать *научную организацию труда*, что принесло ему, как, впрочем, и другим специалистам в этой области, не склонным считаться с тем, каким человек выйдет с фабрики после окончания смены, непопулярность в среде рабочих.

По мере исследования поведения человека, будь то эксперименты, проводимые в строго контролируемых условиях научной лаборатории, или сбор эмпирических данных при изучении производственного процесса, становилось все более ясно, что исследователи пытаются разобраться в устройстве тонкого механизма, имея на вооружении только молоток и зубило.

У простых организмов можно наблюдать простые автоматические ответы на воздействие внешних факторов, так называемые *тропизмы* (от греческого слова *tropos*, означающего «поворот, направление») — движения всего организма или его частей, вызванные односторонним воздействием факторов среды. У растений проявляются *фототропизм* (движение стеблей и листьев к свету), *гидротропизм* (изменение направления роста корней в ту сторону, где почва более увлажнена) и *хемотропизм* (изменение направления роста, вызванные определенными химическими веществами). Хемотропизм можно наблюдать и у многих животных, от простейших до муравьев. Известно, что некоторые бабочки летят на запах, источник которого может находиться на расстоянии более трех километров. Подобные тропизмы совершаются автоматически, независимо от воли: вы знаете, что фототропные ночные мотыльки летят даже в огонь свечи, и это становится их последним полетом.

Как можно видеть, рефлексy, о которых я говорил в этой главе выше, не далеко ушли вперед от тропизмов. Импринтинг, о котором я также упоминал, уже является формой обучения, правда весьма механического.

Однако не следует думать, что рефлексy или импринтинг свойственны только низшим животным — человеку они также присущи. Едва родившись, человеческое дитя крепко схватит ваш палец, едва вы притронетесь им к его ладошке, новорожденный начинает сосать грудь, как только сосок матери коснется его губ. Важность подобных инстинктов очевидна: они защищают младенца от падения и от голода.

В раннем периоде развития для человека характерен и импринтинг. Безусловно, младенцы — далеко не самый подходящий объект для экспериментальных исследований, но многие выводы можно сделать на основе случайных наблюдений. Так установлено, что, если ребенок в тот период, когда он начинает произносить звуки, не будет слышать человеческую речь, он вырастет немым или, в лучшем случае, будет обладать весьма ограниченными речевыми данными. Детей, с раннего возраста в силу различных причин изолированных в специальные учрежде-

ния — детские дома, приюты, — где они получали полноценное питание, где полностью обеспечивали все остальные их физические потребности, по печати уныния на лицах можно легко отличить от детей, которые воспитывались в домашних условиях. Если домашние дети росли окруженные индивидуальной заботой и любовью, то детдомовцы были лишены родительской ласки — им неизвестно, что такое заснуть на коленях матери под баюкающие звуки колыбельной. Они отстают от нормальных сверстников по умственному и физическому развитию, и в основе этого лежит, скорее всего, одна причина: они не знали материнской любви и в силу этого были лишены адекватных стимулов, которые обеспечили бы импринтинг модели правильного поведения.

С другой стороны, психика людей, сызмальства находившихся под излишней родительской опекой, лишенных в детстве достаточного общения со своими сверстниками, также страдает теми или иными отклонениями — эти люди не получили вовремя очень важных для личностного развития стимулов, воспитывающих способность к адекватным социальным контактам.

Конечно, можно спорить относительно того, что рефлексы и импринтинг имеют место только при развитии человека в раннем возрасте. Можно утверждать, что по мере взросления человек становится рациональным существом, отвечающим на стимулы уже не механически, а руководствуясь собственной волей. Но так ли это? Обладает ли на самом деле человек *свободой воли* или только выдает желаемое за действительное? А может быть, некоторые аспекты поведения человека точно так же целиком определяются стимулами, как и поведение быка в экспериментах Дельгадо, описанных выше?

Безусловно, найдется немало ученых, которые на основании философских или каких-либо других исключительно теоретических рассуждений докажут существование свободы воли у человека, но я не знаю никого, кто нашел бы способ доказать это экспериментально. Точно так же сложно корректно продемонстрировать, что в основе поведения человека лежит *детерминизм* — понятие, совершенно обратное свободе воли. Некоторые попытки доказать это противоположное положение все же были предприняты. Наибольших успехов в этом направлении добился русский физиолог Иван Петрович Павлов.

Особый интерес Павлова был связан с механизмом пищеварения. В 80-х годах XIX века он показал, что секреция сока в желудке собаки начинается в тот момент, когда пища только попадает на язык животного и желудок может продолжать выделять сок, даже если пища в него и не будет поступать. Но если перерезать тянущуюся к желудку ветвь блуждающего нерва (этот нерв идет от продолговатого мозга к внутренним органам, в том числе и к различным отделам желудочно-кишечного тракта), то выделение желудочного сока прекращается. За описание физиологии

пищеварения Павлов в 1904 году был удостоен звания лауреата Нобелевской премии в области медицины и физиологии.

Но, как и другие ученые, отмеченные этой высокой наградой (особенно это касается Эрлиха и Эйнштейна), Павлов работал одновременно в нескольких направлениях, что, естественно, замедлило ход той части работы, за которую он получил премию. Павлов занялся изучением автоматической, или рефлекторной, природы секреции слюны, поскольку за этим процессом легко наблюдать. Вид или запах пищи вызывает у собаки (впрочем, у человека тоже) выделение слюны. В чем заключался эксперимент Павлова? Каждый раз, помещая перед собакой пищу, он звонил в колокольчик. Со временем, после 20—40 таких кормлений, звон колокольчика вызывал у собаки усиленное слюноотделение даже в том случае, если пищу ей не давали. У животного развивалась ассоциативная связь: звуковой нервный импульс, передающий звон колокольчика в головной мозг, стал равнозначным другим нервным импульсам, зрительному и обонятельному, передающим вид и запах пищи.

В 1903 году Павлов ввел в научный лексикон термин *условный рефлекс*, под которым он и подразумевал описанный феномен. При звуке колокольчика у собаки невольно начинала выделяться слюна, точно так же, как и при виде или запахе пищи. Звук стал *условным раздражителем* (вид и запах пищи — это *безусловные раздражители*. — *Примеч. пер.*). Конечно же эффект условного раздражения можно свести на нет — например, если, звоня в колокольчик, собаке несколько раз не давать пищи, а вместо этого подвергнуть животное легкому удару электрическим током. Тогда через некоторое время при звоне колокольчика собака будет вздрагивать, если даже ее не будут подвергать воздействию электрическим током, слюна у нее выделяться на звук перестанет.

Более того, Павлов сумел в экспериментальных условиях сформировать у собаки сложные условные рефлексы, сочетая с кормлением круглое световое пятно, а с легким ударом электрическим током — пятно эллиптической формы. Собака четко различала форму пятен и адекватно реагировала на них: при появлении круглого пятна у нее начиналось слюноотделение, а при появлении пятна эллиптической формы животное вздрагивало, как от электрического разряда. Павлов пошел дальше, он начал постепенно изменять форму эллиптического пятна, приближая ее к круглой. По мере того как различать пятна становилось все труднее и труднее, собака начинала мучиться, не зная, как реагировать на условный раздражитель, и у нее возникало нечто наподобие нервного расстройства.

Таким образом, эксперименты, в которых исследователи выработывали у животных условные рефлексы, стали достаточно тонким инструментом в исследовании поведенческих реакций. Благодаря им экспериментатор иногда мог чуть ли не «разгова-

ривать» с животными. Этот метод открыл широкие возможности в изучении их высшей нервной деятельности: инстинктов, способности к обучению, визуальных возможностей, способности различать цвета и т. д. Далеко не безынтересными являются исследования австрийского естествоиспытателя Карла фон Фриша. Фриш обучал пчел летать к тарелкам с пищей, расположенным на некотором расстоянии от ульев. Исследователь выяснил, что пчелы-разведчицы вскоре сообщают остальным пчелам из своего роя, где находится пища. Согласно результатам экспериментов фон Фриша, пчелы умеют различать некоторые цвета, они способны чувствовать даже ультрафиолет, правда, не видят красного цвета. Общаются пчелы друг с другом посредством танца на сотах, характер и скорость танца несут в себе информацию о том, в каком направлении следует лететь и на каком расстоянии находится пища; направление пчелы определяют по поляризации дневного света. Увлекательные исследования Фриша, позволившие установить, что у пчел для общения есть свой язык, открыли новые просторы для изучения поведения животных.

Теоретически любое обучение можно рассматривать как процесс формирования определенного набора условных рефлексов. Например, когда вы учитесь печатать на машинке, то вначале, прежде чем напечатать букву, вы отыскиваете ее глазами на клавиатуре. Но постепенно, по мере накопления опыта, отыскивание глазами нужной буквы заменяется автоматическим движением пальца в сторону нужной клавиши. Так, если вы хотите напечатать «л», то средний палец вашей правой руки автоматически движется к клавише с буквой «л». Если вам со временем придется печатать слово «лов», то средний и указательный пальцы правой руки и средний палец левой руки автоматически в нужном порядке ударят по нужным клавишам. Ваше сознание уже не будет управлять двигательной реакцией пальцев. Если вы спросите опытную машинистку, где на клавиатуре находится та или иная буква, она немного подумает, прежде чем вам ответит. Сам я печатаю быстро и совершенно механически — «вслепую». И если вы меня спросите, где на клавиатуре расположена, скажем, буква «ф», то, чтобы правильно вам ответить (исключая, конечно, поиск этой буквы глазами), я должен занести руки над клавиатурой, как будто собираюсь печатать, и представить, куда направится один из пальцев, если мне нужно будет напечатать «ф». Получается, что я клавиатуры не знаю, ее знают мои пальцы.

Тот же принцип применим и к обучению более сложным действиям, таким, как, например, чтение или игра на скрипке. Возьмем, к примеру, слово «карандаш». Оно состоит из букв, каждая буква — это некий зрительный символ, изображенный при помощи линий. Следовательно, и все слово «карандаш» в написанном варианте является неким набором символов, сочетанием линий. Почему же тогда сочетание линий КАРАНДАШ, изобраа-

женных черным цветом на листе бумаги (я имею в виду открытую страницу книги, которую вы сейчас держите перед собой), ассоциируется в вашем сознании, с одной стороны, с окрашенной деревянной палочкой, внутри которой заключен графитовый стержень, а с другой — с определенным набором звуков, соответствующих этому предмету? Вам совершенно не нужно расшифровывать этот набор символов или копаться в памяти, чтобы понять, что он обозначает. В итоге многочисленных тренировок, проведенных когда-то в детстве, у вас автоматически возникает ассоциативная связь между данными символами и самим предметом.

Еще в первой половине XX века американский физиолог Джон Бродус Уотсон создал целую теорию поведения человека. Он считал, что в основе поведения человека лежат условные реакции. Эта теория получила название *бихевиоризм*. На основании своей теории Уотсон даже предположил, что человек никоим образом осознанно не контролирует свое поведение, оно целиком и полностью является результатом условных реакций на внешние и внутренние обстоятельства. Хотя бихевиоризм и был популярен некоторое время, эта теория никогда не получала поддержки со стороны психологов. Во-первых, если даже и посчитать ее основы правильными, данная теория не может пролить свет на наиболее интересные аспекты человеческой деятельности, такие, как творческое мышление, художественные способности, понятия правильного и неправильного в оценке действий. Вряд ли возможно установить все факторы, воспитавшие условные реакции человека, и тем более невозможно связать эти факторы с образом мышления и намерениями неким способом, поддающимся количественной оценке; а все, что не поддается количественной оценке, не может быть предметом корректных научных исследований.

Во-вторых, как с точки зрения условных реакций или действий объяснить такое явление, как интуиция? Мозг, казалось бы, случайно, ни с того ни с сего, сопоставляет две на первый взгляд совершенно не связанные между собой мысли или два вроде бы не связанных события и создает абсолютно новую идею. Или организм отвечает на некое воздействие совершенно новой, неизвестной для него ранее реакцией.

Кошки и собаки при поиске выхода из какой-либо ситуации (например, что следует сделать со щеколдой, чтобы открыть дверь) также могут найти решение неизвестной ранее проблемы, только их поиск будет проходить согласно принципу проб и ошибок. Они станут неистово, без всякой системы кидаться на дверь, пока случайно не подвинут щеколду. Если им снова дать ту же задачу, смутные воспоминания об удачно найденном движении позволят животному открыть дверь несколько быстрее, чем в первый раз, в третий раз решение будет найдено еще бы-

стрее и так далее, пока, в конце концов, собака не станет сразу же двигать шею. Для наиболее умных животных достаточно всего нескольких раз, чтобы они перешли от действия по принципу проб и ошибок к намеренным поступкам, необходимым для решения задачи.

То же происходит и с людьми. Что делает человек, уронивший монету? Он внимательно осматривает пол в комнате, заглядывает под стол, кресла. Казалось бы, монета может быть и тут и там, поэтому порядок поиска не имеет значения и может быть бессистемным. Но если подобное происходило раньше, человек сначала осмотрит то место, где он обнаружил монету в предыдущий раз, или же будет ориентироваться на звук, или же станет действовать систематически: вначале оглядит пол вокруг себя, затем проверит, нет ли монеты под столом или креслами, потом начнет осматривать углы. Точно так же, если человека закрыть в комнате, для того, чтобы выбраться из нее, он мог бы колотить руками и ногами в стены, но человек этого не делает, он знает, что такое дверь, и поэтому сконцентрирует все свое внимание на ней.

Короче говоря, человек умеет упрощать метод проб и ошибок, взывая к многолетнему опыту и пользуясь им при переходе от мыслей к поступкам. В поисках разрешения проблемы человеку не надо совершать физических действий, ему достаточно действовать в мыслях. Такое мысленное свершение проб и ошибок и есть то, что мы называем разумом, и разум — достояние не только человека.

Человекообразные обезьяны, система поведения которых более проста и механична по сравнению с человеческой, проявляют иногда некоторую сообразительность, которую можно принять за проявление разума. Немецкий психолог Вольфганг Кёлер, застрявший с началом Первой мировой войны в одной из немецких колоний в Африке, весьма впечатляюще продемонстрировал это в своих экспериментах на шимпанзе. В одном из них обезьяна после многократных тщетных попыток достать банан с помощью слишком короткой бамбуковой палки неожиданно схватила вторую такую же палку, которую экспериментатор предусмотрительно положил неподалеку, вставила одну палку в другую — и стала счастливой обладательницей сладкого плода. В другом эксперименте шимпанзе, для того чтобы дотянуться до банана, поставила один ящик на другой, в результате чего смогла достичь заветной цели. В обоих случаях действия обезьяны не являлись результатом обучения или следствием некоего предшествующего опыта, способствующего появлению у шимпанзе определенных ассоциаций, скорее всего, это была вспышка озарения.

В действительности выработка условных рефлексов имеет большее значение, чем можно предполагать. Долгое время ученые полагали, что некоторые показатели функционирования человеческого организма, такие, как частота сокращений сердца, дав-

ление крови в сосудах, интенсивность перистальтики кишечника, находятся под контролем исключительно автономной нервной системы и поэтому их нельзя произвольно изменять. Конечно, можно прибегнуть к хитрости. Люди, занимающиеся йогой, способны, произвольно изменяя напряжение грудных мышц, замедлять частоту сердечных сокращений, но это эффект примерно такого же рода, что и остановка кровотока в лучевой артерии обыкновенным пережатием ее пальцем у запястья. Опять же вы можете заставить свое сердце биться чаще, вообразив ситуацию, вызывающую нервное возбуждение. Но этот случай является примером сознательного управления автономной нервной системой, а не отдельным органом. А нельзя ли простым усилием воли заставить сердце биться чаще или повысить свое давление, не прибегая к хитроумным манипуляциям мышцами или искусственно возбуждая свое воображение?

Американский физиолог Нил Элгар Миллер со своими сотрудниками проделал эксперименты по выработке условных рефлексов у крыс: животные получали награду каждый раз, когда по какой-либо причине у них повышалось кровяное давление или когда в ту или иную сторону изменялась частота сокращений сердца. Со временем животные обучились ради получения награды произвольно вызывать у себя те изменения в функционировании сердечно-сосудистой системы, какие обычно происходят под воздействием автономной нервной системы. То есть у них точно так же формировались условные рефлексы, как и в гораздо более простом случае, когда их обучали нажимать на рычаг, для того чтобы получить то же вознаграждение.

Подобный эксперимент был проведен и на людях. Мужчин-добровольцам в ответ на спонтанное повышение или снижение артериального давления в качестве «награды» вспышкой света освещали картинки эротического содержания. Испытуемые не знали, что является причиной того, что свет загорается, но тем не менее со временем скачки артериального давления у них и соответственно вспышки света стали происходить чаще.

Существуют и другие, более тонкие факторы, осуществляющие независимый контроль над функциями организма. Поскольку живые организмы подвержены воздействиям природных ритмов — морским приливам и отливам, смене дня и ночи, изменениям времени года, — нет ничего удивительного в том, что отвечают они на подобные изменения также ритмически. Каждую осень деревья сбрасывают листву, и каждую весну на них начинают набухать почки. Люди вечерами засыпают и просыпаются, когда всходит солнце.

Только относительно недавно ученые стали осознавать всю сложность и многообразие ритмических реакций и их автомати-

ческую природу, реакций, сохраняющихся даже тогда, когда отсутствует сам ритмически изменяющийся природный фактор.

Так, листья растений ежедневно поднимаются с восходом солнца и опускаются вместе с его заходом. Это хорошо видно при быстром прокручивании пленки, на которую был заснят этот процесс. У растений, помещенных в темноту, такой смены положения листьев не наблюдается, но потенциально они обладают этим качеством. Достаточно один раз — только один раз! — выставить их на свет, как потенциальные возможности превращаются в реальные. У таких растений появляется периодический ритм движения листьев, и он уже сохраняется даже тогда, когда растения обратно помещают в темноту. Продолжительность периода движения листьев в темноте у различных растений колеблется от 24 до 26 часов, но при дневном освещении она у всех растений одинакова — 24 часа. Создав искусственное освещение, продолжительность цикла можно менять. Так, наблюдали 20-часовой цикл при искусственном освещении (10 часов с освещением и 10 часов в темноте), но после того, как такие растения помещали в условия постоянной темноты, у них самопроизвольно восстанавливался приблизительно 24-часовой цикл.

Суточный цикл — своеобразные биологические часы, которые работают даже в отсутствие периодически изменяющегося внешнего фактора, — характерен для всего живого. Франц Халберг, биолог из университета в Миннесоте, дал ему название *циркадный ритм* (от латинских слов *circa* — около и *dies* — день).

Деятельность человеческого организма также подвержена циркадным ритмам. Проводились эксперименты, в которых добровольцы, мужчины и женщины, месяцами изолированно от всего мира жили в пещерах, не имея возможности не только определять время, но даже узнавать, день ли снаружи, или ночь. Вскоре они совершенно утратили чувство времени, стали вести бессистемный образ жизни, ели и спали вне зависимости от времени суток. При этом они время от времени определяли физиологические показатели функционирования своего организма: температуру тела, пульс, давление крови, снимали электроэнцефалограммы. Результаты измерений передавались наружу. Исследователи, проводившие эксперимент, фиксировали эти показатели и сопоставляли их со временем суток. Оказалось, несмотря на то, что чувство времени затворниками было потеряно, их организм сохранял ритмичность в функционировании. Все снимаемые показатели периодически изменялись на протяжении всего пребывания испытуемых в пещерах. Период этого ритма равнялся примерно суткам.

Длительность периода — величина вовсе не абстрактная. Земля постоянно вращается вокруг своей оси, и вследствие этого постоянно наблюдается смена дня и ночи. Соответствующая суточная ритмичность будет наблюдаться у человека только в том

случае, если он остается на планете примерно в одном месте или перемещается по ней только в южном или северном направлениях. Если же вы быстро переместитесь далеко на запад или на восток, то время суток в этом месте уже не будет соответствовать вашему суточному ритму. Вы можете приземлиться в Японии, когда там завтракают, а ваши биологические часы будут подсказывать вам, что пора ложиться спать. В век реактивных самолетов у людей, перемещающихся на большие расстояния, часто возникают проблемы, поскольку им приходится адаптироваться — приводить свою активность в соответствие с суточной активностью окружающих. Но при этом система функционирования организма, например секреция гормонов, не соответствует активности человека — в результате он чувствует себя усталым и его деятельность не столь продуктивна, как в обычных условиях у себя дома. Короче, в результате такого перелета человек будет в той или иной степени страдать от усталости.

Способность вашего организма противостоять воздействию рентгеновского облучения или других нежелательных внешних факторов также очень часто зависит от того, какое время показывают ваши биологические часы. Весьма вероятно, что и действие различных лекарств, как лечебное, так и нежелательное побочное, может по-разному проявляться в различное время суток.

Что поддерживает столь точный ход биологических часов? Почему они не ломаются? Ученые подозревают, что регулятором их механизма является шишковидная железа, или эпифиз. У некоторых рептилий шишковидная железа сильно развита и по строению напоминает глаз. У гаттерий (единственных сохранившихся представителей отряда клювоголовых. — *Примеч. пер.*), похожих на ящериц рептилий, которые водятся исключительно на некоторых небольших островах Новой Зеландии, шишковидная железа представляет собой покрытое кожей образование, слегка выступающее над сводом черепа. Оно особенно выражено у этих животных в шестимесячном возрасте, и его характерная особенность — это чувствительность к свету.

Шишковидная железа не «видит» свет в обычном понимании этого слова, она способна лишь в зависимости от освещенности ритмически вырабатывать с большей или меньшей интенсивностью определенное химическое вещество, которое, вероятно, не только определяет точность хода биологических часов, но и поддерживает их в рабочем состоянии даже в условиях темноты (выполняя свое задание по типу условно-рефлекторной деятельности).

Но как шишковидная железа работает у млекопитающих, у которых она уже не локализуется под кожей на своде черепа, а погружена глубоко в мозг, в самую его середину? Может быть, есть нечто, что обладает большей проникающей способностью, чем дневной свет, но что так же ритмично изменяет свою интен-

сивность в течение суток? Существует ничем не доказанное предположение, что функцию света в этом смысле могут выполнять космические лучи. Благодаря магнитному полю Земли и солнечному ветру они также обладают собственным циркадным ритмом, и, может быть, именно они являются внешним регулятором наших внутренних часов.

Если ученые со временем и обнаружат фактор, являющийся внешним регулятором, все равно встанет вопрос: что собой представляют наши внутренние биологические часы? Это что, некая химическая реакция, которая периодически то ускоряется, то замедляется и которая контролирует другие ритмические процессы, протекающие в организме? Существует ли такая «главная» реакция, которая может выполнять функцию биологических часов? Если и существует, то она еще не открыта.

Если посчитать выработку условных рефлексов за отправную точку в анализе высшей нервной деятельности человека, то объяснить все тонкости таких качеств, как интуиция и рассудок, будет непросто. Все исследования, относящиеся к поведению человека, основаны на методах, которые сами по себе являются в значительной степени интуитивными. Если проследить историю развития этих методов, то нам придется вернуться почти на два века назад, когда эксперименты австрийского врача Франца Антона Месмера произвели настоящую сенсацию в Европе. Месмер использовал в своих экспериментах мощный инструмент исследования поведения человека, и этим инструментом являлся *животный магнетизм* (или, как это явление стали называть потом, *месмеризм*). Пользуясь первое время магнитами, а затем и просто своими руками, Месмер вводил пациента в транс и приказывал ему излечиться от своих болезней. За ним закрепилась слава целителя (поскольку некоторые расстройства действительно поддаются лечению внушением), и вскоре он приобрел много последователей, включая и Маркуса де Лафайетта. Однако деятельность Месмера, страстно увлекавшегося астрологией и всевозможной мистикой, вызвала скептицизм в некоторых кругах; была создана комиссия, куда вошли Лавуазье и Бенжамин Франклин, которая, тщательно изучив методику врача, обвинила его в плутовстве. Покрытый позором, Месмер был вынужден удалиться от дел.

Тем не менее начало было положено. В 50-х годах XIX века британский хирург Джеймс Брейд возродил гипноз (кстати, он был первым, кто использовал термин *гипнотизм*, что в переводе с греческого означает «погружение в сон») как метод медицинского воздействия на человека. Вскоре этим методом стали пользоваться другие врачи. Среди них был и венский доктор Йозеф Брейер, который в 80-х годах XIX столетия начал применять гипноз для лечения психических и эмоциональных расстройств.

Явление гипнотизма, конечно же известное и ранее, еще с античных времен, часто использовалось мистиками. Но Брейер и

другие стали интерпретировать гипноз как свидетельство о существовании *подсознательного* уровня мышления. По мнению Брейера, глубоко в подсознании скрывались мотивации, о которых человек даже не подозревал и которые вытащить на свет можно было с помощью гипноза. Появилось суждение, что эти мотивации специально подавляются сознанием, поскольку они связаны с чем-то постыдным, чувством вины, и их можно рассматривать как причину непонятного, неразумного и даже порочного поведения.

Брейер намеревался использовать гипноз для исследования скрытых форм истерии и других нарушений поведения человека. Вместе с ним работал его ученик Зигмунд Фрейд. В течение нескольких лет они вместе занимались лечебной практикой. Их метод заключался в том, что пациента сначала погружали в легкий гипнотический сон, а затем, задавая интересующие их вопросы, получали от него на них ответы. Брейер и Фрейд обнаружили, что у пациентов, освобождающихся во время гипнотического сеанса от скрытых в подсознании опыта или побуждений, после выхода из гипноза симптомы проявления комплексов в поведении часто становятся менее выраженными.

Фрейд пришел к выводу, что практически все воспоминания или мотивации, скрытые в подсознании, имеют сексуальную природу. Сексуальные побуждения, на которые общество и родители наложили в свое время запрет, загоняются глубоко в подсознание, но по-прежнему желая реализоваться, они вызывают сильно выраженные противоречия, которые тем отрицательнее воздействуют на психику, чем менее они распознаны и признаны.

Однако Брейер не считал сексуальный фактор доминирующим в развитии комплексов, поэтому пути ученика и учителя разошлись. В 1894 году Фрейд самостоятельно начал развивать свои собственные идеи, касающиеся причин и лечения нервных и психических расстройств. Он больше не пользовался гипнозом. Метод Фрейда заключался в том, чтобы вызвать пациента на открытый разговор, точнее, принудить его рассказать что-либо. Тема разговора могла быть любой, пациенту следовало рассказывать о чем угодно, обо всем, что приходило на ум. По мере того как пациент все больше понимал, что его внимательно и с пониманием слушают, сочувствуют, морально не порицают, его подсознание начинало медленно — порой очень медленно — освобождаться; человек произносил вслух мысли, давно таившиеся в глубинах мозга, вспоминал события, казалось бы навсегда забытые. Фрейд назвал этот постепенный неспешный анализ *психоанализом* (от слова «психея», что в переводе с греческого означает «душа»).

Идеи Фрейда о сексуальном символизме сновидений, его описание детских желаний заменить на брачном ложе родите-

лей одного из них (Эдипов комплекс — у мальчиков и комплекс Электры — у девочек; названия даны в честь героев древнегреческой мифологии) одних шокировали, других же, наоборот, привлекали. В 20-х годах XX века после неурядиц, вызванных Первой мировой войной, среди проблем, возникших вследствие действия сухого закона в Америке, на фоне произошедшего во многих частях света изменения нравов учение Фрейда приобрело широкую известность и психоанализ стал повсеместно популярен.

Однако более полувека психоанализ оставался больше искусством, нежели наукой. В психиатрии особенно трудно проводить корректные эксперименты в тщательно контролируемых условиях, как это делают физики или представители других «строгих» наук. Психиатры делают свои заключения, большей частью руководствуясь собственной интуицией и субъективными суждениями. Они несомненно помогли многим пациентам, но достижения психиатрии (психоанализ является одним из методов, используемых в психиатрии) долгое время оставались весьма скромными, и число больных с психическими расстройствами также существенно не уменьшалось. Психиатры также не создали каких-либо глобальных общепризнанных теорий, сопоставимых с бактериальной теорией возникновения инфекционных болезней. Долгое время психиатрических клиник существовало почти столько же, сколько и психиатрических школ.

Серьезные психические отклонения могут принимать различные формы: от хронической депрессии до полного ухода от реальности в мир, в котором, по крайней мере, некоторые детали не соответствуют тому, как большинство из нас их представляет. Эта форма психозов получила название *шизофрении* (термин ввел в обращение швейцарский психиатр Эвжен Блёр). Под этим термином кроется такое множество психических расстройств, что их уже невозможно рассматривать как отдельное конкретное заболевание. Около 60 процентов всех хронических пациентов психиатрических клиник Соединенных Штатов имеют диагноз шизофрении.

Примерно до середины прошлого столетия все, что могли таким пациентам предложить психиатры, — это такие жесткие (если не сказать — жестокие) методы лечения, как *префронтальная лоботомия* (об этой операции уже говорилось в этой главе), а также шоковая терапия, проводимая с помощью электричества или инсулина (метод инсулинового шока ввел в практику австрийский психиатр Манфред Закель в 1933 году). Психиатрия и психоанализ приносили немного пользы таким больным, разве только что на начальных стадиях болезни, когда общение врача с пациентом было еще возможным. Но в начале 50-х годов благодаря первым успехам в изучении химических процессов, протекающих в мозге (начала развиваться такая область биологии, как

нейрохимия), а также созданию некоторых лекарств, способных воздействовать на эти процессы, у психиатров появился теоретический базис, который позволял им не только объяснить причины возникновения психических расстройств, но и совершенствовать методы их медикаментозного лечения.

Еще в древние времена люди знали, что сок одних растений способен провоцировать появление галлюцинаций (зрительных, звуковых и прочих), сок других — вызывать у человека эйфорию (иллюзорное состояние безмятежности, покоя и счастья). Дельфийские жрицы в Древней Греции жевали некоторые из таких растений, прежде чем произнести свои таинственные предсказания. Индейские племена, живущие в юго-западной части Соединенных Штатов Америки, совершая свои ритуальные обряды, использовали для жевания листья мексиканского кактуса, вызывающие цветковые галлюцинации. Наиболее драматические последствия возымело использование на Востоке *гашиша* — высушенного сока из листьев конопли, более известного под названием *марихуана*.

В настоящее время «двойником» растений, вызывающих состояние покоя, является группа лекарственных средств, получивших название *транквилизаторы*. В действительности один из транквилизаторов был известен в Индии еще за 1000 лет до нашей эры, это был экстракт из корней растения, которое называется *раувольфия змеевидная*, или *Rauvolfia serpentina*. В 1952 году американские химики выделили из высушенных корней этого растения действующее начало — *резерпин*, первое популярное успокаивающее средство. Впоследствии было синтезировано несколько веществ, обладающих подобным действием, но имеющих более простое химическое строение.

Транквилизаторы обладают успокаивающим действием, хотя между ними и успокаивающими средствами существует различие. Транквилизаторы устраняют беспокойство, тревогу, страх без существенного угнетения остальных видов психической деятельности. К сожалению, они обладают и снотворным действием, поэтому их применение может вызвать нежелательные побочные явления. Врачи сразу же установили, что эти средства являются чрезвычайно полезными в психиатрической клинике, поскольку в силу успокаивающего действия они облегчают состояние пациентов, страдающих нервными и психическими расстройствами, включая и некоторые разновидности шизофрении. Транквилизаторы не лечат психические болезни, они лишь уменьшают проявление некоторых симптомов, чем способствуют проведению адекватного лечения. Снижая враждебную настроенность пациента, его буйство, снимая его тревогу, страх, транквилизаторы дают возможность оптимального общения врача с пациентом, не прибегая к физической изоляции психически больного, позволяют легче войти с ним в контакт, благодаря им пациенты скорее покидают клинику.

Но вернемся к резерпину. Как оказалось, часть его сложной молекулы очень похожа на молекулу серотонина, вещества очень важного для функционирования мозга. Впервые серотонин был обнаружен в крови в 1948 году, и с той поры интерес к нему со стороны физиологов и врачей не ослабевает. Было выявлено, что в мозгу человека серотонин локализуется, в частности, в области гипоталамуса, он также обнаружен в головном мозге и нервной ткани других животных, включая и беспозвоночных.

Более того, как оказалось, многие вещества, обладающие выраженным влиянием на центральную нервную систему, по своей структуре похожи на серотонин. Одно из них — буфотенин, яд кожи некоторых разновидностей жаб. Другое — мескалин, биологически активное вещество, содержащееся в мексиканском кактусе. Наиболее сильнодействующим веществом является синтетическое соединение диэтиламид лизергиновой кислоты, более известное под названием ЛСД. В 1943 году швейцарский химик по имени Алберт Гофман, проводя опыты, случайно всосал через пипетку немного раствора, содержащего ЛСД, после чего его обуяли странные ощущения. Конечно, все его ощущения были казавшимися, иллюзорными, они не имели ничего общего с тем, что его действительно окружало. А было у него то, что мы называем галлюцинациями, ЛСД оказался одним из веществ, которые эти галлюцинации вызывают. Такие вещества называются *галлюциногенами*.

Те, кто испытал удовольствие от ощущений, вызванных приемом галлюциногенов, объясняют свое состояние как «раскрепощение мозгов», им казалось, что под воздействием галлюциногенов они чувствовали больше, чем в обычном состоянии, и чувства их были ярче. Правда, после того, как приятные ощущения проходили, у них развивался острый психоз, напоминающий *белую горячку* у алкоголиков. Сравнение этой стадии с психозом не случайно: исследования показали, что ЛСД в малых дозах способен спровоцировать появление многих симптомов, характерных для шизофрении.

Из-за чего могут возникать психические расстройства? Серотонин, очень напоминающий по структуре аминокислоту триптофан, разрушается под действием фермента *моноаминоксидазы*, которая присутствует в клетках головного мозга. Предположим, что мы заблокируем этот фермент неким веществом, похожим по структуре на серотонин, лизергиновой кислотой например. Поскольку действие разрушающего фермента будет устранено, серотонин начнет накапливаться в клетках мозга и его содержание в центральной нервной системе может повыситься настолько, что вызовет развитие психических расстройств.

Может быть, и шизофрения развивается вследствие нарушения обмена какого-то вещества, важного для функционирования мозга? Шизофрения — заболевание наследственное, поэто-

му можно предположить, что в его основе лежит нарушение некоего метаболического звена, находящегося под генным контролем. (В настоящее время известно, что при этом заболевании в головном мозге повышается содержание норадреналина, серотонина и, прежде всего, дофамина. — *Примеч. пер.*). В 1962 году было выявлено, что в моче шизофреников находится вещество, которое отсутствует в моче людей, не страдающих этим расстройством психики. Впоследствии установили, что этим веществом является *диметилфенилэтиламин*, химическая структура которого представляет собой нечто среднее между структурой адреналина и мескалина. Следовательно, можно предположить, что вследствие нарушения метаболизма в организме шизофреников образуются вещества, обладающие свойствами галлюциногенов, так сказать, свои собственные галлюциногены, и поэтому такие больные постоянно находятся под их сильным воздействием.

Каждому должно быть понятно, что любое химическое вещество, приводящее к «раскрепощению мозгов», нарушает химические процессы, протекающие в головном мозге (а часто и во всем организме). Но важно понять и другое: сколь рискованно играть с химическими механизмами мозга, сколь опасно в них вторгаться. Психическое уродство — это слишком высокая цена за какое бы ни было «удовольствие», получаемое от приема галлюциногенов.

По мере развития нейрохимии появилась надежда понять такое свойство мышления, как память. Принято считать, что существуют два вида памяти: кратковременная и долгосрочная. Вы находите в телефонной книге нужный вам номер, вам нетрудно запомнить его на то время, пока вы его набираете. После этого вы его автоматически забываете, и, скорее всего, никогда уже не вспомните. Но номер телефона, куда вы часто звоните, вы можете набрать по памяти, поскольку он уже вошел в вашу долгосрочную память. Даже если пройдет несколько месяцев, вы все равно сможете вспомнить его.

Но с другой стороны, многое из того, что относится к долгосрочной памяти, со временем также забывается. Мы забываем, увы, немало даже жизненно важных вещей. Но действительно ли мы их забываем? Действительно ли они нацело стираются из памяти? А может быть, они захоронены в ней так глубоко, заваленные малозначительной повседневностью, что их трудно извлечь на поверхность?

Неожиданное воскрешение в памяти давно забытых событий — это и на самом деле почти в буквальном смысле выход воспоминаний из глубин памяти на поверхность. Хирург Уилдер Грейвс Пенфилд, американец, работавший в Монреальском университете в Канаде, проводя операцию на головном мозге, случайно при-

коснулся к некоей зоне в коре, и это вызвало у пациента впечатление, что тот слышит музыку. Многократное, уже намеренное прикосновение к этой точке каждый раз приводило к тому же эффекту. То есть пациента можно было заставить вспомнить прошлый опыт при полном осознании настоящего. Надлежащая стимуляция определенной зоны коры мозга с большой точностью приводила к воскрешению памяти. Та область коры, которая участвует в этом процессе, называется *интерпретативной корой*. Может быть, что случайное прикосновение к этой зоне коры головного мозга вызвало феномен *deja vu* (ощущение того, что было когда-то) и другие проявления *экстрасенсорного восприятия*.

Но если память способна сохранить все подобные детали, то откуда в мозге берется так много пространства? Было посчитано, что на протяжении жизни мозг может хранить 1 000 000 000 000 000 (миллион миллиардов) единиц информации. Даже если предположить, что для хранения единицы информации необходим объем, приблизительно равный объему молекулы, то для сохранения всей информации (миллиона миллиардов единиц) потребовался бы весь мозг. Но ведь у этого органа, мозга, есть немало других функций.

Наиболее подходящими для этой цели молекулами оказались молекулы рибонуклеиновой кислоты (РНК), которых, что уже достаточно странно, в нервных клетках содержится гораздо больше, чем в каких-либо других клетках организма. Почему странно? Вы, наверное, помните (см. главу 12), что РНК необходима клетке для синтеза белка, поэтому вполне резонно предположить, что этой нуклеиновой кислоты должно быть больше в тех клетках, которые продуцируют много белка в силу того, что они активно растут или обильно выделяют богатый белком секрет. Нервная клетка не делает ни того ни другого.

Шведский специалист в области неврологии Олгерд Хайден разработал методику, позволяющую выделить изолированную (отдельную) клетку головного мозга и определить в ней содержание РНК. В качестве экспериментальных животных он использовал крыс, которых чему-либо обучали, например балансированию на веревке. В 1959 году ученый обнаружил, что в клетках головного мозга обученных крыс количество РНК на 12 процентов превышает тот же показатель для животных, не проходивших обучения.

Молекула РНК достаточно большая и сложная, поэтому если каждая единица памяти определяется определенной молекулой РНК, то нам не следует беспокоиться о том, что на сохранение всех единиц памяти молекул РНК не хватит: их разнообразие может быть таким, что миллион миллиардов по сравнению с ним почти ничего не значит.

Но что собой представляет молекула РНК? Молекулы РНК синтезируются в соответствии со строением молекул ДНК в хромосомах. Не означает ли это, что у каждого человека в молекулах ДНК потенциально содержится огромный объем для хране-

ния памяти, так сказать, «банк памяти», с которым он рождается и к которому постоянно обращается по мере накопления опыта?

Является ли синтез определенной молекулы РНК конечным этапом образования единицы памяти? Ведь основная функция РНК заключается в синтезе белковых молекул. Может быть, на самом деле не РНК, а белок связан с механизмами памяти?

Помочь проверить это предположение смогло вещество *пуромицин*, которое блокирует синтез белка, но не препятствует синтезу РНК. Американские ученые супруги Луи Флекснер и Джозефа Барбара Флекснер обучили мышь проходить через лабиринт, после чего сразу же ввели ей пуромицин. Мышь забыла то, чему она научилась. Молекулы РНК в клетках ее мозга присутствовали, но молекулы белка, которые могли быть ключевыми для памяти, синтезироваться не могли. При помощи пуромицина Флекснеры показали, что это вещество стирает кратковременную память, тогда как долгосрочная память сохраняется (по всей вероятности, необходимые для нее белки уже содержатся в клетках мозга).

Вполне возможно, что механизмы памяти слишком тонкие, чтобы их можно было объяснить исключительно на молекулярном уровне. В них, помимо специфических молекул РНК и белков, может участвовать и определенная система межнейронных связей. И как бы то ни было, в этой области предстоит еще многое сделать.

Обратная связь

Все понимают, что человек не машина и что машина не человек, однако создается впечатление, что по мере развития науки и техники различие между ними становится все меньше и меньше.

Если проанализировать деятельность человека, то первое, что придет на ум, — это его выраженная гораздо больше, чем у других живых организмов, способность к саморегуляции. Человек умеет приспосабливаться к внешним условиям посредством контроля не только над своими действиями, но и над окружающей средой. Он противостоит изменениям условий среды не приспосабливаясь к ним, а действуя активно в соответствии со своими потребностями и стандартами. Давайте посмотрим, насколько сможет справиться с подобной задачей машина.

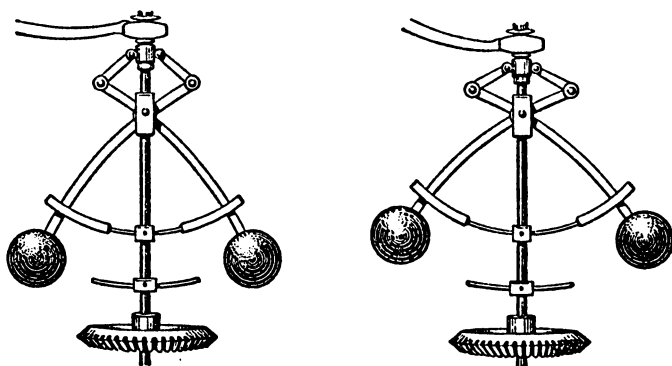
Наиболее простым из подобных механических приспособлений является распределительный клапан. Первая версия его появилась еще в 50 году нашей эры в Александрии, где клапан использовался для автоматического распределения воды. В качестве примера простейшей версии предохранительного клапана можно привести кастрюлю-скороварку, которую изобрел еще в 1679 году

Денис Пейпин. Для того чтобы крышка могла сдерживать давление пара, он поместил на нее груз, достаточно легкий для того, чтобы крышка могла подняться, прежде чем давление пара возрастет настолько, что он сможет разорвать кастрюлю. Современные скороварки или паровые котлы оснащены более тонкими приспособлениями (например, предохранителями, которые расплавятся, если температура станет слишком высокой), но принцип остался тот же.

Конечно, это пример, так сказать, «одноразовой» регуляции. Но можно привести примеры и постоянно действующих регулирующих устройств. Англичанин Эдмунд Ли в 1745 году запатентовал простое устройство, благодаря которому ветряная мельница поворачивалась навстречу ветру. Его приспособление представляло собой обычный флюгер веерообразной формы, который поворачивался по ветру, когда тот менял свое направление. Поворот флюгера через систему зубчатых колес передавался на саму мельницу, которая также поворачивалась крыльями против ветра. Флюгер оставался неподвижным до тех пор, пока ветер не менял направление.

Но истинным прообразом современных механических саморегулирующихся устройств является приспособление для поддержания постоянного давления пара, которое придумал Джеймс Ватт и которое он использовал в своем паровом двигателе. Чтобы обеспечить выпуск пара из парового двигателя, Ватт сконструировал регулятор, состоящий из вертикальной оси, к которой по бокам на свободно подвешенных стержнях крепились два груза. Грузы могли свободно перемещаться вверх и вниз, удаляясь при этом от стержня или соответственно приближаясь к нему. Ось под давлением пара вращалась. При повышении давления пара ось начинала вращаться быстрее, при этом под действием центробежной силы грузы перемещались в стороны и вверх. Двигаясь вверх, они поднимали клапан, что позволяло пару выходить наружу. По мере снижения давления пара вращение оси замедлялось, и под действием силы тяжести грузы опускались вниз, вследствие чего клапан закрывался. Таким образом устройство регулировало скорость вращения оси и соответственно поддерживало мощность двигателя на постоянном уровне. Любое отклонение от заданной мощности двигателя автоматически запускало вышеописанное устройство, что также автоматически нормализовало работу двигателя. Подобное взаимоотношение между частями системы, при котором ошибка в функционировании одной части тут же дает о себе знать другой части и служит при этом количественной мерой для необходимой коррекции, называется *обратной связью*.

Наиболее показательным примером механизма, в котором действует обратная связь, является *термостат* (устройство, служащее для поддержания постоянной температуры. — *Примеч. пер.*). Первый термостат сконструировал нидерландский изобретатель Кор-



Устройство Ватта

нелис Дребл еще в начале XVII века, это было весьма примитивное приспособление. Термостат с более усовершенствованным принципом работы, который используется и до сего дня, придумал в 1830 году шотландский химик Эндрю Юр. Главным элементом в термостате Юра являются две полоски, сделанные из разных металлов. Полоски располагаются одна вдоль другой и спаиваются. Поскольку различные металлы при изменении температуры расширяются или сжимаются в различной степени, полоски при изменении температуры изогнутся в дугу. Допустим, термостатирующее устройство на комнатном обогревателе установлено на температуру 23 °С. Если температура в комнате упадет ниже 23°, пластинки изогнутся таким образом, что они замкнут электрическую систему и автоматически включают обогреватель. Как только температура в комнате превысит 23°, пластинки изогнутся в другую сторону и разомкнут контакт и обогреватель выключится. Таким образом обогревательный прибор сам регулирует свою работу посредством обратной связи.

Контроль над деятельностью различных органов в организме человека также осуществляется благодаря обратной связи. Этому можно привести много примеров. Рассмотрим один из них: если температура в комнате регулируется термостатом, то содержание глюкозы в крови регулируется поджелудочной железой, путем изменения секреции инсулина. Как и отклонение температуры в комнате от заданной включает или выключает обогреватель, так и изменение содержания глюкозы в крови «включает» или «выключает» поджелудочную железу. Повышение уровня глюкозы — это сигнал для поджелудочной железы для усиления выброса инсулина. Подобно тому как мы можем изменить температурный режим обогревателя, задав другую желаемую температуру, разнообразные изменения, происходящие внутри организма (например, выброс адреналина), могут перевести работу органов на другой,

более или менее интенсивный уровень, повысив или снизив при этом физиологические показатели.

Способность живых систем к саморегуляции, направленной на поддержание постоянства внутренней среды, получила название *гомеостаз*. Этот термин ввел в обращение американский физиолог Уолтер Брэдфорд Кеннон, который в первой половине XX века стал лидером в изучении этого свойства живой материи.

Большинство систем, как живых, так и неживых, слегка запаздывают с ответом в проявлении обратной связи. Возьмем, к примеру, тот же комнатный обогреватель. После автоматического выключения он еще продолжает некоторое время обогревать помещение, отдавая остаточное тепло, и, наоборот, когда он автоматически включится, всегда проходит какое-то время, пока комната согрется до заданной температуры. Таким образом, строго говоря, температура в комнате не всегда равна 23 °C, ее значение колеблется около этой величины, то слегка превышая ее, то опускаясь немного ниже. Этим феноменом впервые начал заниматься в 30-х годах XIX столетия английский астроном Георг Айри в связи с изобретением приспособления, автоматически поворачивающего телескоп в соответствии с вращением Земли.

Большинству процессов, протекающих в живых организмах, присущи колебания физиологических показателей вокруг некоего среднего: от содержания глюкозы в крови до осознанных поведенческих реакций. Когда вы тянетесь рукой, чтобы достать до какого-либо предмета, движение вашей руки в действительности является не одним движением, а целой их серией, с постоянным контролем и коррекцией скорости и направления. Мышцы исправляют отклонения движения от нужной линии, а глаза контролируют появление этих отклонений. Корректирование происходит настолько автоматически, что вы этого даже не замечаете. Но понаблюдайте за младенцем, не имеющим столь большого зрительного опыта, как вы, когда тот пытается что-либо достать. В движении его руки будут «недолеты» и «перелеты», потому что мышечная коррекция направления движения у ребенка еще недостаточно точная. Больные, страдающие поражениями нервной системы, при которых нарушается зрительная обратная связь, всякий раз, желая взять какой-либо предмет, в попытке скоординировать движения мышц совершают рукой несколько ошибочных движений возле него или тычут ею наугад, пока не нащупают предмет.

Рука здорового человека ровно движется к своей цели и останавливается в нужный момент, так как зрительный контролирующий центр заранее производит коррекцию движения. Точно так же при езде на автомобиле, поворачивая за угол, вы начинаете возвращать передние колеса в исходное положение еще до

того, как вы завершили поворот. Другими словами, в том и другом случае вы производите коррекцию движения своевременно, и это позволяет вам избегать существенных ошибок.

Заботой о регулировании движения (а по сути, координацией сокращения мышц, определяющих это движение. — *Примеч. пер.*) на основе обратной связи занимается мозжечок, это его основная функция. Он «смотрит» вперед и на какое-то мгновение заранее определяет правильное положение, скажем, руки, и в результате получается скоординированное точное движение. Мозжечок постоянно управляет напряжением крупных мышц туловища, что дает нам возможность не терять равновесия и держаться вертикально, когда мы стоим. В действительности это трудная работа — стоять и ничего не делать; все мы знаем, сколь утомительным может быть длительное состояние на месте.

Этот принцип применим и к машине. Можно сделать так, чтобы при приближении параметров, характеризующих состояние системы, к нормативным значениям сразу же автоматически включался механизм, который останавливал бы работу корректировочного устройства. Тогда параметры системы никогда не превысят нормативных значений. В 1868 году французский инженер Леон Фарко использовал этот принцип при разработке системы автоматического контроля с помощью пара положения руля морского судна. Как только положение руля приближалось к тому, которое должно было быть, приспособление Фарко автоматически опускало паровой клапан; другими словами, по мере того, как судно начинало занимать нужное направление, давление пара снижалось. Как только положение руля отклонялось от правильного, вследствие его движения открывался соответствующий клапан, что приводило руль в нужное положение. Фарко дал название своему изобретению — *сервомеханизм*, или следящая система. В каком-то смысле появление этого механизма предвосхитило эру *автоматизации* (это слово ввел в обиход в 1946 году американский инженер Д.С. Хардер).

Должное применение автоматические следящие системы нашли только с развитием электроники. Введение в сервомеханизмы электроники сделало их высокочувствительными и быстро реагирующими, по чувствительности и скорости реакции системы автоматического контроля превосходили живые организмы. Более того, радио значительно расширило сферу применения этих механизмов: с появлением радио этими механизмами можно стало управлять находясь на расстоянии. Немецкий самолет-снаряд времен Второй мировой войны, в сущности, являлся летающим сервомеханизмом, он продемонстрировал возможности не только управляемого снаряда, но и самоуправляемых и управляемых на расстоянии перевозочных средств вообще, от поездов подземки до космических кораблей. Поскольку военные ведомства питали особый интерес к такого рода разработкам и вкладывали в

них большие средства, наибольшее развитие системы автоматического контроля получили в военной технике. Эти системы способны засечь быстродвижущуюся цель на расстоянии в несколько сот и даже тысяч километров, тут же рассчитать ее курс (с учетом скорости ее движения, направления и скорости ветра, температуры различных слоев атмосферы и ряда других условий) и поразить ее — и все это без какого-либо участия человека.

Страстным сторонником автоматизации, который немало сделал для развития ее теории, был математик Норберт Винер. В 40-х годах XX столетия он и возглавляемая им группа из Массачусетского института технологии разработали некоторые фундаментальные положения, касающиеся использования механизмов обратной связи. Он дал новому направлению исследований название *кибернетика*. Это название происходит от греческого слова, означающего «рулевой», «кормчий», что не случайно, так как вы помните, что первое применение системы автоматического контроля было действительно связано с рулем судна.

С началом Второй мировой войны начался и быстрый прогресс автоматики. Особенно быстро он происходил в Соединенных Штатах Америки и в Советском Союзе. Нефтеперерабатывающие заводы, предприятия, выпускающие такую продукцию, как радиоприемники или алюминиевые поршни, целиком были поставлены на автоматическую основу, их загружали сырьем на одном конце автоматической линии и получали готовую продукцию на другом, и всем процессом производства на этих предприятиях управляли самоконтролируемые машины. Автоматизация проникла даже в сельское хозяйство: в 1960 году инженеры из университета штата Висконсин заявили о создании автоматической системы, предназначенной для кормления свиней. Эта система обеспечивала своевременную дачу каждому животному на ферме необходимого количества нужных на данный момент кормов.

В известном смысле автоматизация означала начало новой технической революции. Но каждая революция имеет жертвы. И в этом случае жертвами индустриальной революции могли стать не только тысячи рабочих, но и экономика в целом. Рассказывают такую историю. Глава одного из американских предприятий, выпускающих автомобили, сопровождал некоего профсоюзного деятеля в экскурсии по новому автоматизированному заводу. «Боюсь, что с них вы никогда не сможете собрать профсоюзные взносы», — шутливо заметил он, кивая на автоматы. «А я боюсь, что вы никогда не сможете продать им свои автомобили», — отпарировал профсоюзный деятель.

Однако автоматизация производства не привела к тому, что численность рабочих на производстве значительно сократилась. Если и сократилась, то, во всяком случае, не больше, чем она снизилась с появлением паровых машин или электричества. С появлением паровых машин и электричества исчезла необходи-

мость применения мускульной силы в производстве, человек перестал использоваться в качестве рабочей лошади. Введение автоматизации избавило человека от необходимости быть тупым придатком конвейера.

Механизм обратной связи и сервомеханизмы возбудили интерес не только среди инженеров, но и среди биологов: саморегулируемые устройства могли служить упрощенной моделью для изучения функционирования нервной системы.

В 40-х годах XX века чех Карел Чапек написал пьесу «R.U.R.» («Универсальные роботы Россела»). Пьеса не только пробуждала фантазию человека, но и вносила в его душу некоторое смятение. В те годы ученые начали проводить эксперименты по созданию различного рода роботов (иногда их еще называли *автоматами*) не как механизмов, способных заменить человека, а как инструмент для изучения природы живых организмов. Так, например, Л.Д. Хармон разработал транзисторную схему, которая при стимуляции генерировала электрический импульс подобно нейрону. Из таких схем можно было собрать устройства, которые воспроизводили некоторые возможности человеческого глаза и уха. Английский биолог У. Росс Эшби на основе таких схем собрал механизм, реакции которого на внешние воздействия были очень похожи на простые рефлексy. Он дал своему детищу название *гомеостат*, поскольку тот мог самостоятельно поддерживать себя в стабильном состоянии.

Британский невролог Уильям Грей Уолтер создал более сложное устройство, которое было способно исследовать окружающее и реагировать на него. Поскольку внешне это устройство было похоже на черепаху, автор так его и назвал. В устройство были вмонтированы фотоэлектрический элемент, который выполнял функцию глаза, чувствительный детектор, реагирующий на прикосновение, и два мотора: благодаря одному автомат мог двигаться вперед и назад, благодаря другому — поворачиваться и изменять направление движения. В темноте «черепаха» едва двигалась по широкой дуге: если натыкалась на препятствие, отступала немного назад, слегка поворачивалась, после чего снова продолжала двигаться вперед, пока вновь не натыкалась на какой-либо предмет. Если ее фотоэлектрический «глаз» видел свет, то срабатывал поворачивающий мотор и «черепаха» начинала двигаться прямо на свет. Ее фототропизм также был контролируем: при достаточно близком приближении к источнику света сильная яркость заставляла «черепаху» поворачивать в сторону, так что она не делала роковой ошибки, свойственной ночным мотылькам. Правда, когда батарейки начинали садиться, «голодная» «черепаха» все же ползла к источнику света, рядом с которым находилось подзаряжающее устройство, и заряжалась. «Насытившись», она вновь

становилась чувствительной к свету и уходила из зоны яркой освещенности.

Появление подобных роботов вселяло в ученых и конструкторов желание создать механизмы, которые бы полностью имитировали живые системы. Ведь если рассматривать творческую деятельность человека в историческом аспекте, то легко увидеть, что в природе существуют прообразы всех образцов его творчества. Нож есть не что иное, как острый бивень животного, рычаг — это, по сути, искусственная рука, образ колеса был позаимствован у ствола дерева и т. д. — примеров можно привести много.

Относительно недавно, менее 50 лет назад, появилось новое направление в науке, одной из основных задач которого явился тщательный анализ функционирования живых тканей и органов, или, другими словами, выяснение того, как работают системы, созданные природой, которые совершенствовались в процессе эволюции на протяжении миллиардов лет. Знания такого рода можно было бы применить при создании машин, копирующих деятельность живых организмов. Это направление получило свое название — *бионика*. Название придумал американский инженер Джек Стил в 1960 году, формально оно является сокращенным вариантом от «*биологическая электроника*», по сути же подразумевает гораздо более широкий спектр задач.

В качестве примера одной из них можно привести интерес к строению кожи дельфина. Если бы турбулентность воды вокруг дельфина при его движении в воде была бы такой, как и вокруг обычного судна такого же размера, то для развития скорости, с которой обычно плавает дельфин, ему бы понадобилось приложить мощность в 2,6 лошадиной силы. По некоторым причинам — скорее всего, из-за строения его кожи — при прохождении потоков воды вдоль тела дельфина турбулентности не возникает, поэтому животному нужно тратить совсем немного энергии, чтобы преодолеть сопротивление воды. Если бы человек при создании материалов для обшивки кораблей смог использовать особенности строения наружного слоя кожи дельфина, скорость океанских лайнеров намного бы возросла и одновременно сократился бы расход топлива.

Американский биофизик Джером Леттвин, введя платиновые электроды в зрительный нерв лягушки, детально изучил функционирование сетчатой оболочки глаза этого земноводного. Раньше полагали, что сетчатая оболочка посылает в мозг сигналы, соответствующие темным и светлым пятнам созерцаемого объекта, а мозг, проанализировав и суммировав эти сигналы, воссоздает зрительный образ предмета. Оказалось, что сетчатая оболочка у лягушки устроена гораздо сложнее: в ней есть пять различных типов клеток, каждый из которых предназначен для выполнения своей функции. Клетки первого типа реагируют на

контуры предмета, или, другими словами, на резкое изменение окраски; с помощью этих клеток животное различает, например, ветви дерева на фоне неба. Клетки второго типа реагируют на темные объекты округлой формы (насекомые, которыми питается лягушка). Третьи клетки реагируют на быстро движущиеся объекты (опасность, которой лучше избежать). Четвертые — на тусклый свет, а пятые — на цвет воды в пруду. Короче говоря, сетчатая оболочка глаза лягушки, прежде чем послать сигналы в мозг, сама их достаточно глубоко анализирует. Если бы датчики, создаваемые человеком, обладали подобным «умением», они бы стали гораздо чувствительнее и многостороннее в функциональном аспекте.

Если человеку и суждено воспроизвести какую-либо живую систему в некой механической конструкции, то наиболее привлекательной является уникальная система, вызывающая наибольший интерес, — это человеческий мозг.

Думающие машины

Можно ли создать машину, которая бы умела думать? Для того чтобы ответить на этот вопрос, мы должны сначала определить, что означает слово «думать».

Давайте рассмотрим математику как одну из форм мышления. Пример этой науки будет наиболее подходящим в нашем случае. Во-первых, математика — атрибут исключительно человеческой деятельности. Некоторые организмы, стоящие на более низких ступенях развития, могут отличить, скажем, три предмета от четырех, но ни один представитель всех существующих на Земле видов, за исключением *Homo sapiens*, не сможет выполнить простую операцию деления $\frac{3}{4}$ на $\frac{7}{8}$. Во-вторых, в математике используется тип рассуждений, оперирующий строгими правилами и исключающий не подкрепленные доказательствами выражения и действия. Математическое мышление характеризуется более конкретным и строгим анализом, чем тип мышления, приводящий к созданию литературных произведений или гарантирующий успех в военной стратегии, в производственном менеджменте или в финансовых операциях. Еще в 1936 году английский математик Алан Мэтисон Тьюринг показал, что любая проблема может быть математически разрешена, если ее можно выразить ограниченным количеством действий, которые может выполнить машина. Поэтому давайте рассматривать думающие машины в контексте математики.

Инструментальные приспособления, призванные помогать математическим рассуждениям, несомненно, столь же стары, как и сама математика. Первыми инструментами, которые человек стал использовать для этой цели, были его собственные пальцы. Ма-

тематика началась тогда, когда человек для выражения чисел и их комбинаций стал пользоваться собственными пальцами. Не случайно, что английское слово «digit» означает и палец, и однозначное целое число.

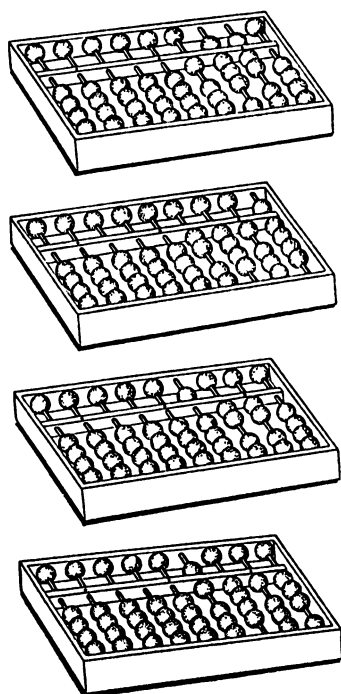
Затем, когда понадобилось обозначать большие количества предметов и пальцев на руках не стало хватать, им на смену пришли мелкие камешки — благо что вокруг их было предостаточно. Использование для счета камешков имело и другое преимущество: теперь можно было сохранять промежуточные результаты вычислений, чтобы затем, в случае возникновения спорных вопросов, воспользоваться ими. И опять же не случайно то, что слово «calculate», означающее «вычислять», «рассчитывать», происходит от латинского слова, означающего «камешки».

Когда в камешках или бусинах проделали отверстия и нанимали их на проволоку, получился *абак*, или попросту *счета*, — первое приспособление, которое действительно можно назвать вычислительным инструментом. С его помощью стало возможным выражать не только единицы и десятки, но и сотни, тысячи, десятки тысяч и т. д. Простым передвижением камешков, или костяшек, на счетах можно было легко суммировать такие большие числа, как, например, 576 и 289. Более того, с помощью этого инструмента можно было и умножать, поскольку умножение есть не что иное, как повторенное несколько раз суммирование. А возможность умножать автоматически дает возможность и возводить в степень, так как возведение в степень есть не что иное, как несколько раз повторное умножение числа самого на себя (например, произведение $4 \times 4 \times 4 \times 4 \times 4$ можно выразить как 4^5). И наконец, проводя манипуляции в обратном порядке, так сказать, наоборот, с помощью счет можно вычитать, делить и извлекать корни.

С точки зрения возможности производить простые вычисления счета можно назвать «калькулятором второго поколения» («калькулятором первого поколения» были конечно же пальцы рук).

На протяжении тысячелетий счета оставались наиболее продвинутой формой счетного устройства. Они вышли из употребления на Западе после падения Римской империи и вновь вернулись в обиход благодаря папе римскому Сильвестру II, примерно в 1000 году; на этот раз завезены они были, скорее всего, из мавританской Испании, где в то время ими широко пользовались. Все приветствовали появление «новинки» с Востока, забыв, что она имеет западное происхождение.

Счета оставались в обиходе до той поры, когда была введена цифровая система обозначения чисел — система счисления, которая имитировала принцип действия счет. (Систему счисления, позволяющую обозначать числа при помощи цифр — наиболее часто сегодня употребляются арабские цифры, — придумали в Индии примерно в 800 году нашей эры; впоследствии ее переня-



Сложение на счетах. Каждая костяшка, расположенная ниже продольной перегородки, принимается за 1, каждая костяшка, расположенная выше, — за 5. Учитываются только те костяшки, которые придвинуты к перегородке. На счетах вверху в правом столбце указан 0, на следующем столбце, если перемещаться влево, указано 7 (или $5 + 2$), на третьем справа — 8 ($5 + 3$), и, наконец, на четвертом — 1. Все число, указанное на верхних счетах, 1870. Если к нему прибавить 549, то в правом столбце получится 9 ($5 + 4$), во втором справа — 1 ($4 + 7 = 11$), так как 10 мы переносим в следующий столбец, передвигая в нем к перекладине 1; в третьем справа столбце мы получаем 4 ($9 + 5 = 14$), а 10 вновь переносим в следующий столбец как 1; и, наконец, четвертое сложение дает 2 ($1 + 1$). Общая сумма, как указано на счетах, — 2419

ли арабы, на Западе она появилась благодаря итальянскому математику Леонардо из Пизы примерно в 1200 году.)

В основе новой системы счисления лежали те же счеты, только каждая из девяти костяшек, нанизанных на проволоку, была представлена своим символом. В рядах единиц, десятков и сотен использовались одни и те же символы. Счетные костяшки, отличавшиеся только положением, заменили символы, которые также отличались только положением: в записи числа 222, например, первая двойка обозначала 200, вторая — 20, а третья саму себя — 2; таким образом, получалось $200 + 20 + 2 = 222$.

Благодаря этой позиционной системе был обнаружен один очень важный факт, который не учитывался древними математиками: в каждом ряду было по девять костяшек, хотя на самом деле их должно было быть десять — ведь помимо обозначения чисел от 1 до 9 в каждом ряду можно было использовать еще одно обозначение: «нет числа», другими словами, в этом случае следовало оставлять положение костяшки пустым. Этот факт ускользнул от внимания всех великих греческих математиков, и его не признавали до IX века, пока некий неизвестный индус не придумал обозначать десятый вариант специальным символом, который арабы называли словом «сифр», что означало «пустой». В конечном итоге это слово дошло до нас как «цифра» (исконное значение этого слова «ноль»).

Следующим важным шагом вперед стало использование показателей степени в написании больших чисел. Возможность записать 100 как 10^2 , 1000 как 10^3 , 100 000 как 10^5 и т. д. создает много удобств. Во-первых, в виде степеней удобнее записывать большие числа. Во-вторых, в таком виде числа легче умножать и делить: в этом случае вычисление сводится к сложению или вычитанию показателей степеней (например, $10^2 + 10^3 = 10^5$). В-третьих, в таком виде числа гораздо легче возводить в степень и извлекать из них корни, умножая или соответственно делая показатели (например, кубический корень из 1 000 000 равен $10^{6/3} = 10^2$).

Все это хорошо, но в простом экспоненциальном виде можно представить лишь относительно небольшое количество чисел. Как, например, в виде степени представить число 111? Попытка ответить на этот вопрос привела к созданию таблиц логарифмов.

Первым за решение этой проблемы взялся шотландский математик Джон Нейпер, живший в XVII веке. Конечно же для того, чтобы число 11 представить в виде степени числа 10, нужно использовать дробный показатель степени (его значение находится между 2 и 3). Если говорить в более широком смысле, показатель степени будет всегда дробным, если число, которое мы хотим выразить в виде степени, не является произведением основания степени самого на себя. Нейпер дал название показателю степени *логарифм* и разработал метод расчета дробных логарифмов. Вскоре после этого английский математик Генри Бриггс упростил метод Нейпера, используя только логарифмы чисел при основании 10. *Десятичные логарифмы* Бригга менее пригодны для вычислений, но ими удобнее пользоваться в простых расчетах.

Все нецелые показатели степени — числа иррациональные, их нельзя выразить в виде простых дробей. Они записываются только в виде десятичных дробей с неопределенно большим количеством знаков после запятой без периодически повторяющейся последовательности цифр. Количество знаков после запятой сокращается в зависимости от точности вычислений.

Допустим, мы хотим умножить 111 на 254. Десятичные логарифмы этих чисел, вычисленные до пятого знака после запятой, равны 2,04532 и 2,40483 соответственно. Сложив эти логарифмы, мы получаем: $10^{2,04532} + 10^{2,40483} = 10^{4,45015}$. Это число приблизительно равно 28 194, чему в действительности и равняется произведение 11 на 254. Если мы хотим достичь большей точности в вычислениях, следует использовать значения логарифмов с шестью и более знаками после запятой.

Были составлены таблицы десятичных логарифмов, которые в значительной степени упростили вычисления. В 1622 году английский математик Уильям Утред придумал устройство, еще больше упрощающее расчеты, — *логарифмическую линейку*. По сути, она состоит из двух линеек, с нанесенными на них *логарифмическими шкалами*. На логарифмической шкале интервалы между числами по мере их увеличения становятся короче. Например, в начальной части линейки размещаются числа от 1 до 10, во второй части, такой же по длине, — от 10 до 100, в такой же третьей части — числа от 100 до 1000 и т. д. Путем перемещения одной линейки вдоль другой на заданное расстояние можно производить такие арифметические действия, как умножение и деление. Делить и умножать с помощью логарифмической линейки так же легко, как и складывать и вычитать с помощью счет. Правда, и в том и другом случае требуется определенный навык использования этих приспособлений для счета.

Первый шаг в направлении создания машин, которые бы производили вычисления действительно автоматически, предпринял еще в 1642 году французский математик Блез Паскаль. Он сконструировал счетную машину, при пользовании которой не требовалось передвигать костяшки отдельно в каждом ряду, как на счетах. Счетное устройство Паскаля состояло из нескольких дисков, соединенных передаточным механизмом. На каждом диске были нанесены отметины от 0 до 9. Когда первый диск, обозначающий единицы, пройдя по очереди все отметины, поворачивался на целый оборот и на нем снова появлялся 0, второй диск — он обозначал десятки — поворачивался до отметки 1, так что оба диска показывали число 10. Когда диск десяток поворачивался на целый оборот и доходил до отметки 0, третий диск — диск сотен — поворачивался до отметки 1, и все три диска показывали число 100, и т. д. (Принцип этого устройства сегодня используется в индикаторах пробега автомобиля.) Считают, что Паскаль сконструировал более 50 таких машин, 5 из них сохранились до сегодняшнего дня.

С помощью приспособлений Паскаля можно было складывать и вычитать. В 1674 году немецкий математик Готтфрид Вильгельм фон Лейбниц сделал следующий шаг в создании вычислительных

машин и сконструировал устройство, с помощью которого помимо сложения и вычитания можно было столь же просто производить умножение и деление. В 1850 году американский изобретатель Д.Д. Пармали запатентовал приспособление, благодаря которому пользоваться счетным устройством стало значительно удобнее: он придумал кнопочный механизм вращения счетных дисков (до этого их приходилось вращать рукой) — нажатие пальцем на определенную кнопку поворачивало диск до нужной отметки (цифры). Этот механизм многим знаком по старым кассовым аппаратам.

Оставалось только электрифицировать счетную машину — пусть мотор выполняет работу, которую задает устройству человек, нажимая на ту или иную кнопку, — чтобы превратить счетный механизм Паскаля—Лейбница в малогабаритный современный калькулятор.

Однако калькулятор, который мы все себе хорошо представляем, и компьютер, машина, якобы способная думать, — совершенно разные вещи. В основе принципа работы компьютера лежит идея, которую выдвинул еще в начале XIX века английский математик Чарльз Бэббейдж.

Гениальный человек, намного опередивший свое время, Бэббейдж решил создать аналитическую машину, которая могла бы производить любую математическую операцию, быть управляемой с помощью перфокарты, хранить числа в памяти, сравнивать результаты произведенных операций и т. д. В течение 37 лет он разрабатывал свою идею, растрачивая свое состояние, свои и правительственные деньги, собирая воедино невероятно сложный механизм, состоящий из сотен колесиков, кулачков, рычагов и проводов, — и каждую деталь нужно было приладить своими руками. В конце концов он потерпел неудачу и умер глубоко разочарованным человеком, потому что все, что он смог сотворить, никак не походило на совершенное механическое устройство, которое он себе представлял.

Своего создания «думающей машине» пришлось ждать целый век, пока не начала развиваться электроника. Но электроника, в свою очередь, требовала общения с ней на простом математическом языке, в котором можно было бы обходиться меньшим количеством знаков, чем в десятичной системе счисления. Для этого весьма подходила двоичная система, придуманная еще Лейбницем. Чтобы понять, как работают современные компьютеры, давайте немного познакомимся с этой системой.

В двоичной системе используются только два знака: 0 и 1. С помощью их можно выразить любое число как степени 2. Так, число один есть 2^0 , число два — 2^1 , три — $2^0 + 2^1$, четыре — 2^2 и т. д. Как и в десятичной системе, показатель степени показывает положение знака. Например, число четыре, представленное в двоичной системе как 100, читается так: $(1 + 2^2) + (0 + 2^1) + (0 + 2^0)$, или $4 + 0 + 0 = 4$.

В качестве иллюстрации давайте рассмотрим число 6413. В десятичной системе его можно записать как $(6 + 10^3) + (4 + 10^2) + (1 + 10^1) + (3 + 10^0)$; вы помните, что любое число в нулевой степени равно 1. Переходя к двоичной системе, мы должны вместо степеней числа 10 сложить степени числа 2. Самая большая степень числа 2, которая находится вблизи от 6413, — это 2^{12} равно 4096. Если мы к 4096 добавим 2^{11} , или 2048, то получим 6144, что на 269 меньше нужного нам 6413. Следующие 2^8 дают нам еще 256, недостает еще 13; мы можем добавить 2^3 , или 8, тогда будет не хватать 5; добавим 2^2 , или 4, и нам не будет доставать 1; и, наконец, добавим 2^0 , или 1.

Таким образом, число 6413 можно записать как $(1 + 2^{12}) + (1 + 2^{11}) + (1 + 2^8) + (1 + 2^3) + (1 + 2^2) + (1 + 2^0)$. Но, как и в десятичной системе, каждый знак числа, если идти по порядку слева направо, представляет собой следующую меньшую степень. Если в десятичной системе число 6413 мы представляем как сумму четвертой, третьей, первой и нулевой степеней числа 10, то для представления этого числа в двоичной системе мы должны суммировать число 2 в степенях от 12 до 0. Если представить это все в виде таблицы, то она будет выглядеть так:

$$\begin{array}{rcl}
 1 + 2^{12} & = & 4096 \\
 1 + 2^{11} & = & 2048 \\
 0 + 2^{10} & = & 0 \\
 0 + 2^9 & = & 0 \\
 1 + 2^8 & = & 256 \\
 0 + 2^7 & = & 0 \\
 0 + 2^6 & = & 0 \\
 0 + 2^5 & = & 0 \\
 0 + 2^4 & = & 0 \\
 1 + 2^3 & = & 8 \\
 1 + 2^2 & = & 4 \\
 0 + 2^1 & = & 2 \\
 1 + 2^0 & = & 1 \\
 \hline
 & & 6413
 \end{array}$$

Записав последовательно сверху вниз множимые всех произведений, как мы последовательно записали 6, 4, 1 и 4 при записи числа 6413 в десятичной системе, мы получим это число в двоичной системе: 1 100 100 001 101.

Оно выглядит довольно громоздким: чтобы записать число 6413, потребовалось 13 знаков, тогда как в десятичной системе можно обойтись только четырьмя. Но для компьютера такое представление числа является, наоборот, наиболее простым. Поскольку при записи используются только две цифры 0 и 1, любую операцию можно производить, поставив в соответствие циф-

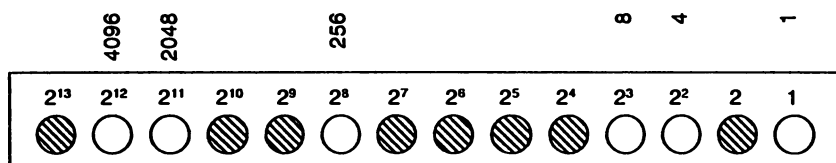
рам два состояния электрической цепи: «включено» и «выключено». «Включено» (цепь замкнута) соответствует 1, «выключено» (цепь разомкнута) — 0. Используя соответствующие электрические схемы и диоды, можно было создать машину, которая бы выполняла все математические операции. Например, используя параллельно два переключающих устройства, она могла складывать: $0 + 0 = 0$ («выключено» плюс «выключено» равно «выключено») или $0 + 1 = 1$ («выключено» плюс «включено» равно «включено»). Точно так же, последовательно используя два устройства для переключения, можно было производить умножение: $0 \cdot 0 = 0$; $0 \cdot 1 = 1$; $1 \cdot 1 = 1$.

Вот что касается двоичной системы счисления. Относительно электроники следует сказать, что ее развитие невероятным образом способствовало ускорению работы компьютеров. Многие математические действия стали производиться практически мгновенно: появились машины, способные совершать до миллиарда операций в секунду! Расчеты, которые у человека, вооруженного карандашом и бумагой, заняли бы всю жизнь, компьютер выполнял за несколько дней. Сошлюсь на один известный случай: до появления компьютеров английскому математику Уильяму Шенксу потребовалось 15 лет для того, чтобы рассчитать число π (отношение длины окружности к ее диаметру) с точностью до 707 знаков после запятой (к тому же он ошибся в последней сотне знаков). Несколько лет спустя электронный компьютер смог произвести правильный расчет этого числа до 10 000 знаков после запятой, и эта работа заняла всего несколько дней.

В 1925 году американский инженер-электрик Ванневар Буш с коллегами создали компьютер, способный решать дифференциальные уравнения. Хотя он и был сконструирован из довольно примитивных механических деталей, по своим возможностям он уже напоминал современную вычислительную машину и представлял собой удачный вариант счетного устройства, над созданием которого Бэббейдж тщательно трудился за 100 лет до этого.

Для полного успеха следовало заменить механические переключающие устройства на электронные. Это значительно бы повысило скорость выполнения действий, так как поток электронов можно запустить, уменьшить или остановить за миллионные доли секунды — куда быстрее, чем манипулировать механическими переключателями, пусть даже искусно выполненными.

Первый большой электронный компьютер, при создании которого было использовано 19 000 вакуумных трубок, сконструировали во время Второй мировой войны Джон Преспер Экерт и Джон Уильям Мачли, сотрудники университета в Пенсильвании. Его назвали ENIAC (аббревиатура от английского названия «электронный числовой интегратор и компьютер»). Последнюю операцию ENIAC произвел в 1955 году, в 1957 году его демонтировали как безнадежно устаревший механизм, а ведь этому окончательно-



Число 6413, представленное включенными лампочками на панели вычислительной машины. Светлые кружки означают горящие лампочки

но «выжившему из ума старику» было тогда всего лишь 12 лет от роду. Но этот «старик» оставил после себя многочисленное смышленное и куда более приспособленное к жизни потомство. ENIAC весил 30 тонн и занимал площадь около 140 квадратных метров. Если бы аналогичный компьютер собрали 20 лет спустя, в 1965 году, то в нем вместо вакуумных трубок использовали бы более миниатюрные, более быстродействующие и более надежные в работе переключающие устройства, по размеру он получился бы такой, как домашний холодильник. В современных же компьютерах количество переключающих устройств и быстродействующих элементов памяти исчисляется миллионами.

Прогресс развития компьютерной техники был невероятно стремительным. Судите сами: если к 1948 году небольших электронных компьютеров было произведено всего лишь несколько штук, то через пять лет работали уже 2000 компьютеров, в 1961 году их количество возросло до 10 000, а в 1970-м перевалило за 100 000.

Компьютеры, работающие непосредственно с числами, называются *цифровыми вычислительными машинами*. Они могут работать с любой степенью точности, но решают только конкретную задачу — ту, которую ей задают. Примером наиболее примитивного устройства такого рода являются счеты, о которых я уже говорил. Но есть компьютеры, которые работают не с числами, а с током, величина которого может изменяться в соответствии со значениями переменных, с которыми оператор имеет дело. Это *аналоговые вычислительные устройства*. Известным примером такого устройства является «универсальный аналоговый компьютер» (UNIVAC), первый большой коммерческий компьютер, созданный Экертом и Мацли в 1950 году, его использовали на телевидении для подсчета голосов во время выборов президента США в 1952 году. Примером примитивного аналогового вычислительного устройства является логарифмическая линейка. Точность вычислений у аналоговых компьютеров ограничена, но зато они способны сразу предлагать решения целого ряда связанных между собой задач.

Является ли ENIAC или какой-либо из его более «сообразительных» потомков действительно думающей машиной? Вряд ли. Это не что иное, как те же счеты, только очень быстро работаю-

щие. Машины такого рода, как рабы, тупо следуют указаниям оператора, его инструкциям.

Инструкции машинам давали вначале чаще всего с помощью перфокарт. Идея задавать машинам задание таким образом возникла еще у Бэббейджа. Отверстие, проделанное в том или ином месте на карточке, может означать определенное число; комбинация двух или нескольких отверстий, проделанных в определенных местах, может означать букву алфавита, математическое действие или какое-то свойство — то, что вы заранее зададите. Таким образом, перфорируя карточку в разных местах, на ней можно записать имя человека, цвет его глаз, цвет волос, место жительства, материальное положение, образование, профессию и прочее. Если такую карточку пропустить между электрическими полюсами, то в тех местах, где на карточке есть отверстия, возникнет контакт, и тогда данные о человеке, занесенные на перфокарту, трансформируются в определенную электрическую схему. Такую карточку можно завести на каждого члена некой популяции людей. Затем, если понадобится, отсканировав всю картотеку, можно найти всех, кто соответствует определенным качествам: например, всех, кто выше 180 сантиметров ростом, у кого голубые глаза и кто говорит по-русски.

Точно так же перфокарта, на которой записана программа для компьютера, создает в нем определенные электрические схемы, по которым машина делает заданные математические операции с заданными числами.

Во всех случаях, за исключением, может быть, самых простых программ, компьютер должен хранить некоторые числа или некие данные до того момента, когда с ними нужно будет производить действия. Это означает, что он должен быть оснащен устройством памяти. Память в компьютерах, как правило, магнитного типа: она записывается в виде магнитных ячеек на вращающемся барабане или магнитной ленте. Каждая ячейка памяти может представлять или 1, когда она намагничена, или 0, когда она не намагничена. Каждая такая единица информации называется *бит* (от английского *binary digit* — *двоичный разряд*). При записи информации ячейки намагничиваются при помощи электрического тока, считывается информация благодаря индуцированному напряжению, которое в них образуется.

Со временем дни перфокарт канули в Лету, и задания компьютеру (например, такому, как UNIVAC III, собранному в 1960 году) стали задавать путем печатания английских слов. Компьютеры конструировали таким образом, чтобы они могли должным образом реагировать на некоторые слова и словосочетания. Слова подбирали так, чтобы, следуя строгим правилам, ими можно было гибко пользоваться. Так появились *машинные языки*. Одним из наиболее известных является FORTRAN (сокращенный вариант английского *formula translation* — формула перевода).

Компьютер конечно же явился вершиной технического прогресса, с его помощью стало возможным полностью автоматизировать производство. Сервомеханизмы могли выполнять только некоторые, наиболее «бездумные» аспекты автоматизации. В любых более сложных процессах, таких, как, например, наводка орудия на цель и уничтожение ее или управление автоматическим производством, компьютеры нужны для быстрых и точных расчетов, координирования и наблюдения — другими словами, они должны быть механическим мозгом, который управляет механическими мышцами. Возможности применения компьютерной техники для выполнения подобных функций воистину безграничны. Компьютер автоматически выставляет счета за электричество, он резервирует вам билет на самолет и место в гостинице, он хранит все сведения о чеках и банковских счетах, составляет платежные ведомости, ведет постоянный учет товара — короче, помогает управляться с делами большим современным корпорациям.

Скорость, с которой компьютер выполняет заданные ему действия, его способность работать без усталости и абсолютная толерантность к однообразию операций делают возможным применение этой техники к задачам (в принципе даже не обязательно трудным — скорее нудным), решение которых потребовало бы от человеческого мозга слишком длительного времени. Компьютер незаменим в изучении чисто случайных процессов, таких, как, например, столкновение частиц, находящихся в замкнутом пространстве. Для того чтобы определить вероятность каждого из возможных событий, компьютер за достаточно короткий промежуток времени проводит *математическую игру* — он моделирует изучаемый процесс, воспроизводя тысячи возможных вариантов. Данный метод называется *методом Монте-Карло*, так как этим же принципом пользуются игроки, пытаясь отыскать какую-либо систему в выигрышных вариантах при игре в рулетку.

Математики, физики, инженеры — все, кто занимался практическим применением компьютеров для решения своих задач, были уверены в том, что это только начало. Составив соответствующие программы, в качестве упражнения на сохранение информации и правильное пользование ею, они «научили» компьютеры играть в шахматы. (Конечно, сначала машина разыгрывала только простые ситуации, но со временем ее запрограммировали так, что она могла действовать в зависимости от тактики игры противника.) Были составлены программы, в соответствии с которыми компьютеры перерабатывали результаты исследований, опубликованные в научных журналах, заносили эти статьи в указатель, переводили их с одного языка на другой. Например, компьютер, имея в памяти англо-русский словарь, мог при сканировании текстов на английском языке, распознавать слова и находить их русские эквиваленты — в итоге получался сырой пе-

ревод текста на русский. Что касается машинного перевода текстов с одного языка на другой и составления коротких конспектов научных статей, то в этом направлении было сделано очень много, так как поток мировой технической и научной литературы становился столь большим, что человеческие возможности не позволяли его переработать.

Но компьютер научился не только читать, он еще научился и слушать. Сотрудники одной из американских фирм построили машину, которая различала слова при чтении текста. Это привело к тому, что со временем стало возможным создать машины, которые не только «понимали» устные инструкции, но и сами умели говорить и даже петь.

В 1965 году (когда персональные компьютеры еще не вошли в обиход. — *Примеч. пер.*) были созданы устройства, позволяющие нескольким пользователям или автоматическим устройствам связываться с компьютером через терминалы, которые могли находиться на некоем расстоянии от него. Этот способ управления машиной называется *режим разделенного времени*, так как такой режим позволяет разделить время пользования компьютером между многими желающими. Указания компьютеру можно было задавать, например, посредством печатания. Времени для получения ответа требовалось так мало, что пользователи и не подозревали о существовании друг друга.

Подобные усовершенствования компьютерной техники привели к обнаружению ее новых возможностей. Рутинные математические операции компьютеры выполняют гораздо быстрее и эффективнее, чем человек. Но у них напрочь отсутствует гибкость человеческого мышления. Ребенок, который учится читать, не испытывает трудностей при восприятии букв «В», «в» или «Ѣ» — он их воспринимает одинаково, независимо от того, какого они размера или каким шрифтом пользовались при их напечатании. Но понадобилось довольно много времени, чтобы научить компьютеры распознавать одну и ту же букву при различных ее написаниях. Подобная гибкость «мышления» компьютера была достигнута путем значительного увеличения его размеров и сложности.

Человеческий мозг весит около полутора килограммов и при работе почти не потребляет энергии. В противоположность ему ENIAC, устройство, предположительно в миллион раз менее сложное, весил 30 тонн и для работы требовал 150 киловатт энергии. Появление транзисторов и криотронов (разновидность коммуникативного устройства, в основе работы которого лежит явление сверхпроводимости материалов при низких температурах) привело к уменьшению компьютеров в размерах и снизило их энергоемкость. Использование ферритовых компонентов для сохранения информации увеличило емкость памяти компьютера при одновременном уменьшении размеров блока памяти. Появи-

лись ферритовые компоненты, размер которых не превышал размера точки, которую вы видите в конце этого предложения.

С созданием миниатюрных туннельных слоистых устройств, обладающих сверхпроводимостью, — их называют *нейристоры* — появилась перспектива совместить в единой системе ту компактность и ту сложность, которой обладают клетки человеческого мозга, и сконструировать устройство, хотя бы частично воспроизводящее удивительные свойства этого органа, который при весе в полтора килограмма состоит из 10 миллиардов нервных и 90 миллионов добавочных клеток.

По мере того как устройство компьютеров с головокружительной быстротой становилось все более сложным, замысловатым, тонким, все чаще и чаще возникал вопрос: если даже сегодня компьютеры и не могут думать в полном значении этого слова, то придет ли день, когда они смогут делать это? Они уже могут считать, помнить, ассоциировать, сравнивать, узнавать. Появится ли у них разум? Многие ученые (в частности, американский математик Марвин М. Мински) на этот вопрос отвечают: да.

В 1938 году молодой американский математик и инженер Клод Элвуд Шеннон в своей диссертационной работе применил к дедуктивной логике, которая официально известна как *булева алгебра*, двоичную систему. Булева алгебра относится к системе символической логики, которую предложил в 1854 году английский математик Джордж Буль в книге, озаглавленной «Исследование законов мышления». Буль полагал, что различные утверждения, которыми оперирует дедуктивная логика, могут быть представлены математическими символами, и показал, как, следуя четким правилам, манипулировать такими символами, чтобы прийти к нужному заключению.

В качестве простого примера рассмотрим следующее утверждение: «оба положения А и Б верны». Путем логических умозаключений, предполагая поочередно, что каждое из обоих положений правильное или ложное, мы должны определить, верно ли утверждение в целом или нет. Рассмотрим эту задачу с точки зрения двоичной системы, так, как и предложил Шеннон: обозначим ложное утверждение как 0, а правдивое — как 1.

Возможны три варианта:

1) если каждое из положений А и Б неверно, то и утверждение «оба положения А и Б верны» неверно. Другими словами, 0 и 0 дают 0;

2) если А верно, а Б — нет (или наоборот), то утверждение снова неверно. Это означает, что 1 и 0 (или 0 и 1) вместе дают 0;

3) если А верно и Б верно, то и в целом утверждение «оба положения А и Б верны» верно. Если это выразить в символах, то 1 и 1 дают 1.

Эти три варианта соответствуют трем произведениям в двоичной системе:

- 1) $0 \times 0 = 0$;
- 2) $1 \times 0 = 0$, или $0 \times 1 = 0$ и
- 3) $1 \times 1 = 1$.

Таким образом, задача, сформулированная в терминах логики, может быть решена математически при помощи умножения. При наличии соответствующей программы компьютер справится с решением этой логической задачи так же легко, как и с обычными расчетами.

В случае утверждения «или А, или В верно» задача разрешается не умножением, а суммированием в двоичной системе:

1) если ни А, ни В не верны, то и в целом утверждение не верно. Другими словами, $0 + 0 = 0$;

2) если А верно, а В не верно (или наоборот), то утверждение верно. $1 + 0 = 1$ (или $0 + 1 = 1$);

3) если А и В оба верны, то утверждение тоже верно: $1 + 1 = 10$. (Значащей цифрой в 10 является 1; то, что она сдвинута на один разряд, не существенно. В двоичной системе 10 означает $(1 + 2^1) + (0 + 2^0)$, что равно 2 в десятичной системе.)

Булева алгебра важна для проектирования связи, и она является составной частью *теории информации*.

Так чего же мы все-таки не сможем делать при помощи машин? Мы остановились на том, что у машин отсутствует творческий аспект мышления, им незнакомы и такие сферы деятельности человеческого разума, как интуиция, рассудочность, взвешивание ситуаций и возможных последствий. Но и эти функции мозга можно перевести в математические формы. Это в свое время сделал математик Джон фон Нейман, который в соавторстве с экономистом Оскаром Моргенштерном в начале 40-х годов прошлого века выпустил книгу под названием «Теория игр и экономической тактики».

Фон Нейман в качестве моделей жизненных стратегий выбрал простые игры, такие, как, например, «уголки» или покер. На этих моделях он проводил анализ типичных ситуаций, в которых игрок пытается найти выигрышную стратегию, а противник в свою очередь выбирает свой способ действий, который может привести его к победе. На производстве в условиях рыночной конкуренции или в военных кампаниях решения подобного рода приходится принимать часто. Даже научные исследования можно рассматривать как игру человека с природой, и теория игр призвана помочь ученому выбрать оптимальный путь исследования, предполагая, что природа подтасует карты так, чтобы максимально помешать человеку выиграть (что часто и происходит на самом деле).

По мере того как машины становятся все больше похожими на людей, человек становится все больше похожим на механизм. Его сердце и почки уже можно заменить на искусственные; электронные устройства могут компенсировать органические поражения: для того, чтобы сердце не перестало биться, человеку можно имплантировать искусственный пейсмейкер. Создана искусственная кисть, которая управляется нервными импульсами, идущими по верхней конечности, к которой она прикреплена. В 1960 году даже появилось слово *киборг* (сокращенная форма словосочетания «кибернетический организм»).

Попытки создать искусственный интеллект, машину, которая бы воспроизводила человеческий разум, еще очень далеки от успеха. Но начало положено, и оно будит воображение и одновременно пугает. А что, если действительно человек когда-нибудь создаст существо — не важно, будет ли оно полностью механическим или какие-то его части будут иметь органическую природу, — равное ему самому во всех отношениях, включая творческие и мыслительные способности, или даже превосходящее его? Не заменит ли это существо человека, как все более приспособленные организмы на Земле за долгую историю эволюции заменили или подчинили себе менее приспособленные?

Вопрос очень деликатный. Неужели мы окажемся тем самым видом, который впервые в истории нашей планеты сам себя уничтожит? Конечно же в человеческих силах не допустить столь прискорбной развязки, мы можем отказаться от создания слишком умных машин. Но каков соблазн: создать такую! Какое творение рук человека и его интеллекта может сравниться с тем, что превосходит самого создателя? Что более удачное могло бы стать последней точкой в победе разума над природой, как не передача последующим поколениям искусственного разума, обладающего большими возможностями по сравнению с человеческим.

Приложение **МАТЕМАТИКА В НАУКЕ**

ПРИТЯЖЕНИЕ

Как я уже объяснил в первой главе, Галилей положил начало современной науке, введя метод логического построения от наблюдений и экспериментов к основным принципам. При этом он также ввел основополагающую методику точного измерения природных явлений, отбросив прежнюю практику обобщенного описания. Проще говоря, он перешел от качественного описания Вселенной, как это делали греческие мыслители, к количественному.

Хотя наука во многом полагается на математические соотношения и операции и в той форме, какую придал ей Галилей, не могла бы без них существовать, я написал эту книгу без математики — и сделал это намеренно. В конце концов, математика — это в высшей степени специализированный инструмент. Чтобы обсуждать развитие науки в математической форме, потребовалось бы очень много места, а читатель должен был бы хорошо знать высшую математику. Но в данном приложении мне хотелось бы на одном-двух примерах показать, как математика успешно применяется в науке. И не логично ли начать именно с Галилея?

Галилей (как Леонардо да Винчи почти за 100 лет до него) подозревал, что падающие объекты во время падения постоянно увеличивают свою скорость. Он решил точно измерить, на сколько и каким образом эта скорость возрастает.

Эти измерения были отнюдь не простыми, если принять во внимание, какие инструменты были у Галилея в 1600 году. Для измерения скорости необходимо измерить время. Мы говорим, что скорость равна 60 милям в час, или 13 футам в секунду. Но во времена Галилея часы могли только отбивать час с приблизительно равными интервалами.

Галилей применил грубые водяные часы. Он дал воде медленно вытекать из узкой воронки, предположив, что она будет течь с постоянной скоростью. Он собирал эту воду в чашку и определял время по весу воды, которая вытекла за тот период, в течение которого происходило некое событие. (Порой он также использовал собственный пульс.)

Однако другая трудность заключалась в том, что падающий объект летел настолько быстро, что за время его падения Галилею не удавалось собрать достаточно воды для точного взвешивания. Тогда он «разбавил» силу притяжения, заставив бронзовый шар катиться по желобу на наклонной плоскости. Чем ближе к горизонтالي была плоскость, тем медленнее двигался шар. Таким образом Галилей смог изучать падающие тела с той степенью «замедления», какая его устраивала.

Галилей обнаружил, что шар, который катится по совершенно горизонтальной плоскости, движется с постоянной скоростью. (Это предполагает отсутствие трения, что можно было принять в рамках грубых измерений Галилея.) Тело, перемещающееся по горизонтальной траектории, движется под прямым углом к силе тяжести. При таких условиях притяжение на тело никак не действует. Шарик, лежащий на горизонтальной плоскости, остается в покое, что может наблюдать каждый. Шарик, которому придали движение на горизонтальной плоскости, движется с постоянной скоростью, как это увидел Галилей.

Значит, математически можно утверждать, что скорость тела v в отсутствие внешней силы является константой k , то есть

$$v = k.$$

Если k равно любому числу, кроме нуля, шарик движется с постоянной скоростью. Если k равно нулю, шарик находится в состоянии покоя. Таким образом, состояние покоя является «частным случаем» постоянной скорости.

Почти век спустя, когда Ньютон систематизировал открытия Галилея в отношении падающих тел, этот результат стал первым законом движения (его также называют принципом инерции, или первым законом Ньютона). Этот закон можно сформулировать так: каждое тело стремится сохранять состояние покоя или равномерного движения по прямой, если на него не воздействует внешняя сила, которая изменила бы это состояние.

Когда шарик катится по наклонной плоскости, на него действует постоянная сила притяжения. И тогда, как обнаружил Галилей, его скорость не является постоянной, а увеличивается со временем. Измерения Галилея показали, что скорость увеличивается пропорционально времени t .

Другими словами, когда на тело действует постоянная внешняя сила, его скорость начиная с момента покоя может быть выражена как

$$v = kt.$$

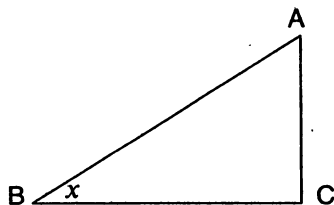
Тогда какова же величина k ?

Как показал эксперимент, это зависело от угла, под которым была наклонена плоскость. Чем ближе она была к вертикали, тем быстрее катящийся шарик набирал скорость и тем больше было

значение k . Максимальное увеличение скорости происходит тогда, когда плоскость стоит вертикально — другими словами, когда шарик свободно падает под «неразбавленным» действием силы тяжести. Символ g (от слова «гравитация») используется, когда действует «неразбавленная» сила тяжести, так что скорость шарика в свободном падении начиная с состояния покоя равна

$$v = gt.$$

Давайте подробнее рассмотрим наклонную плоскость. На диаграмме



длина наклонной плоскости равна AB , а ее высота в верхнем конце равна AC . Отношение AC к AB — это синус угла x , обычно сокращенно обозначаемый как $\sin x$.

Величину этого отношения, то есть $\sin x$, можно получить приблизительно, строя треугольники с определенными углами и измеряя длину и высоту. Или ее можно рассчитать математическими методами до любой степени точности, а результаты можно представить в виде таблицы. Используя такую таблицу, мы можем найти, например, что $\sin 10^\circ$ приблизительно равен 0,17365, $\sin 45^\circ$ приблизительно равен 0,70711 и т. д.

Существует два важных особых случая. Предположим, что «наклонная» плоскость точно горизонтальна. Тогда угол x равен нулю, а так как высота наклонной плоскости тоже равна нулю, то отношение высоты к длине тоже равно нулю. Другими словами, $\sin 0^\circ = 0$. Когда «наклонная» плоскость точно вертикальна, то ее угол с поверхностью земли является прямым, то есть равен 90° . Тогда ее высота точно равна ее длине, так что их отношение равно 1. Следовательно, $\sin 90^\circ = 1$.

Теперь давайте вернемся к уравнению, которое показывает, что скорость шарика, катящегося по наклонной плоскости, пропорциональна времени:

$$v = kt.$$

Экспериментально можно показать, что значение k меняется одновременно с синусом угла, так что

$$k = k' \sin x,$$

где k' использовано для обозначения постоянной, которая отличается от k .

(На самом деле роль синуса в связи с наклонной плоскостью незадолго до Галилея описал Симон Стевин, который также поставил знаменитый эксперимент, бросая предметы с различным весом с одинаковой высоты. Этот эксперимент традиционно ошибочно приписывают Галилею.)

В случае с полностью вертикальной плоскостью $\sin x$ становится $\sin 90^\circ$, который равен 1, так что в свободном падении

$$k = k'.$$

Из этого следует, что k' является значением k в свободном падении под воздействием силы притяжения, которую мы уже договорились обозначать как g . Мы можем подставить g вместо k , и для любой наклонной плоскости

$$k = g \sin x.$$

Следовательно, уравнение для скорости тела, которое скатывается по наклонной плоскости, выглядит так:

$$v = (g \sin x) t.$$

На горизонтальной поверхности, когда $\sin x = \sin 0^\circ = 0$, уравнение для скорости принимает вид

$$v = 0.$$

Другими словами, можно сказать, что шарик на горизонтальной поверхности, находящийся в состоянии покоя, останется неподвижным независимо от хода времени. Предмет, находящийся в состоянии покоя, остается в состоянии покоя и т. д. Это — часть первого закона движения, и она вытекает из уравнения скорости для наклонной плоскости.

Предположим, что изначально шарик не находится в состоянии покоя, но перед тем, как падать, уже двигался. Другими словами, предположим, что ваш шарик движется по горизонтальной плоскости со скоростью 5 футов в секунду, а потом вдруг оказывается на верхнем краю наклонной плоскости и начинает катиться вниз.

Эксперименты показывают, что затем его скорость будет на 5 футов в секунду выше, чем была бы в том случае, если бы он начал скатываться с наклонной плоскости из состояния покоя. Другими словами, уравнение для движения шарика по наклонной плоскости более полным образом может быть записано как

$$v = (g \sin x) t + V,$$

где V — начальная скорость. Если объект начинает движение из состояния покоя, тогда V равна 0, и уравнение принимает тот же вид, какой оно имело ранее:

$$v = (g \sin x) t.$$

Если мы затем рассмотрим объект с некоторой начальной скоростью на горизонтальной плоскости, так что угол x равен 0° , уравнение становится следующим:

$$v = (g \sin 0^\circ) + V,$$

или, поскольку $\sin 0^\circ$ равен 0,

$$v = V.$$

Таким образом, скорость такого объекта совпадает с начальной скоростью и не зависит от времени. Это — оставшаяся часть первого закона движения, которая опять же выводится из наблюдения за движением по наклонной плоскости.

Темп изменения скорости называется *ускорением*. Если, например, скорость шарика, катящегося вниз по наклонной поверхности, составляет (в футах в секунду) 4, 8, 12, 16... тогда ускорение равно 4 футам в секунду за секунду.

При свободном падении, если мы воспользуемся уравнением

$$v = gt,$$

то каждая секунда падения приносит увеличение скорости в g футов в секунду. Следовательно, g представляет ускорение, вызванное силой тяжести.

Значение g можно определить с помощью экспериментов с наклонной плоскостью. Трансформируя уравнение наклонной плоскости, мы получаем:

$$g = v / (t \sin x).$$

Поскольку v , t и x могут быть измерены, g можно вычислить, и оказывается, что на поверхности земли оно равно 32 футам в секунду за секунду. Итак, в свободном падении при нормальной силе тяжести на поверхности земли скорость падения соотносится со временем следующим образом:

$$v = 32t.$$

Это и есть решение задачи Галилея, а именно: определение скорости падения тела и того, как изменяется эта скорость.

Следующий вопрос таков: какой путь пройдет падающее тело за некое время? Используя уравнение, связывающее скорость со временем, можно вывести соотношение расстояния и времени с помощью процедуры, называемой интегрированием. Однако нам нет необходимости рассматривать эту процедуру, поскольку данное уравнение может быть выведено экспериментально, и, по существу, Галилей это сделал.

Он обнаружил, что шарик, катящийся по наклонной плоскости, проходит расстояние, пропорциональное квадрату времени. Другими словами, удвоение времени увеличивает расстояние в четыре раза, утроение — в девять раз и так далее.

Для свободно падающего тела уравнение, связывающее расстояние d со временем, выглядит так:

$$d = \frac{1}{2} g t^2,$$

или, поскольку g равно 32,

$$d = 16 t^2.$$

А теперь предположим, что предмет падает не из состояния покоя, а его бросают горизонтально из точки, находящейся высоко в воздухе. Его движение будет состояться из двух движений — горизонтального и вертикального.

Согласно первому закону движения, движение в горизонтальном направлении, в котором помимо первоначального импульса не участвует никакая другая сила (если мы не принимаем во внимание ветер, сопротивление воздуха и т. п.), это — движение с постоянной скоростью, поэтому расстояние, которое объект проходит по горизонтали, пропорционально времени. А вот движение по вертикали, как я уже объяснил, дает расстояние, которое пропорционально квадрату времени. До Галилея существовало неопределенное представление о том, что летящий предмет, например пушечное ядро, летит по прямой, пока импульс, толкавший его вперед, не будет каким-то образом исчерпан, после чего оно упадет прямо вниз. Галилей сделал огромный шаг вперед, соединив эти два движения.

Комбинация этих двух перемещений (пропорционального времени по горизонтали и пропорционального квадрату времени по вертикали) дает кривую, называемую параболой. Если объект брошен не горизонтально, а вверх или вниз, то кривая движения все равно остается параболой.

Такие кривые, или траектории, применимы, конечно, к таким летающим объектам, как пушечное ядро. Математический анализ траекторий, основанный на работах Галилея, позволил рассчитывать, где упадет пушечное ядро, выпущенное с определенной движущей силой из поднятого под определенным углом ствола. Хотя люди уже многие тысячелетия бросали различные предметы для развлечения, для добычания пищи, для нападения или защиты, только благодаря Галилею, благодаря экспериментам и измерениям появилась наука баллистика. И тогда же первое достижение современной науки получило прямое и немедленное военное применение.

Оно также имело важное теоретическое применение. Математический анализ комбинации нескольких видов движения отменил несколько возражений, выдвигавшихся против теории Коперника. Этот анализ показал, что предмет, брошенный вверх, не останется позади из-за движения Земли, поскольку этот предмет будет совершать два движения: одно — сообщенное броском, а второе — общее с движущейся Землей. Стало также логичным

предположить, что сама Земля совершает одновременно два движения: вращение вокруг своей оси и обращение вокруг Солнца, тогда как противники теории Коперника настаивали на том, что такое немыслимо.

Исаак Ньютон распространил идеи Галилея на движение небесных тел и показал, что одни и те же законы движения применимы к Земле и небесам.

Он начал с предположения, что Луна может падать на Землю в результате воздействия земного притяжения, но не ударяется о поверхность Земли из-за горизонтальной составляющей движения. Как я уже сказал, снаряд, запущенный горизонтально, следует по особой криволинейной траектории вниз, до столкновения с поверхностью Земли. Однако поверхность Земли также искривлена вниз, поскольку Земля — это шар. Снаряд, запущенный с достаточно высокой горизонтальной скоростью, мог бы поворачивать вниз не быстрее, чем это делает поверхность Земли, и таким образом вечно вращался бы вокруг Земли.

Итак, эллиптическое движение Луны вокруг Земли можно разложить на горизонтальную и вертикальную составляющие. Вертикальная составляющая такова, что за одну секунду Луна падает по направлению к Земле на чуть более $\frac{1}{20}$ дюйма. За это же время она проходит в горизонтальном направлении примерно 3300 футов — достаточно много, чтобы компенсировать падение в движении вдоль выгнутой поверхности Земли.

Вопрос состоял в том, было ли падение Луны вызвано той же самой силой тяготения, которая заставила падающее с дерева яблоко пройти 16 футов в первую секунду своего падения.

Ньютон представил силу тяготения как огромную, расширяющуюся во всех направлениях сферу. Площадь поверхности сферы A пропорциональна квадрату радиуса r :

$$A = 4\pi r^2.$$

Он рассуждал далее так: сила тяготения, распространяясь в виде сферы, должна слабеть как квадрат радиуса. Сила света и звука снижается как квадрат расстояния от их источника, так почему бы это не распространялось и на силу тяжести?

Расстояние от центра Земли до яблока на ее поверхности составляет приблизительно 4000 миль. Расстояние от центра Земли до Луны равно примерно 240 000 миль. Поскольку расстояние до Луны в 60 раз больше, чем до яблока, то сила тяжести, действующая на Луну, должна быть в 60^2 , или в 3600 раз слабее, чем та, что действует на яблоко. Если мы разделим 16 футов на 3600, то получится примерно $\frac{1}{20}$ дюйма. Ньютону показалось очевидным, что Луна действительно движется под действием земного притяжения.

Далее Ньютон счел нужным рассмотреть «массу» в отношении к силе тяжести. Обычно мы измеряем массу как вес. Но вес — это

только результат действия силы земного притяжения. Если бы притяжения не было, предмет стал бы невесомым. Тем не менее он по-прежнему состоял бы из того же количества материи. Следовательно, масса не зависит от веса и ее можно измерять каким-то способом, который не включал бы в себя вес.

Предположим, что вы пытаетесь двигать какой-то предмет по поверхности, не обладающей трением, в направлении, горизонтальном по отношению к поверхности Земли, так что сила тяжести никакого сопротивления не оказывает. В связи с инерцией тела, чтобы привести его в движение или ускорить это движение, необходимо усилие.

Если бы вы точно измерили приложенную вами силу, например растягивая пружинные весы (динамометр), прикрепленные к этому телу, то вы бы получили, что сила f , потребовавшаяся для того, чтобы придать ему некое ускорение a , будет прямо пропорциональна массе m . Если удвоить массу, то для этого потребуется вдвое большая сила. Для данной массы потребовавшаяся сила будет прямо пропорциональна необходимому ускорению. Математически это выражается уравнением

$$f = ma.$$

Это уравнение известно как второй закон движения (второй закон Ньютона).

Итак, Галилей выяснил, что действие земного притяжения ускоряет все тела, тяжелые и легкие, совершенно одинаково. (Сопротивление воздуха может замедлить падение очень легких тел, но в вакууме перо будет падать так же быстро, как кусок свинца, что можно легко продемонстрировать.) Поскольку все тела при падении получают одинаковое ускорение, то, чтобы второй закон движения выполнялся, следует предположить, что сила притяжения Земли, действующая на тяжелое тело, должна быть больше, чем на легкое. Например, для ускорения массы, которая в восемь раз больше, чем другая, нужна в восемь раз большая сила. Из этого следует, что сила притяжения, действующая на любое тело, должна быть точно пропорциональна массе этого тела. (Вот почему на поверхности Земли масса тела может быть достаточно точно измерена как вес.)

Ньютон вывел и третий закон движения: «Для каждого действия есть равное и противоположно направленное противодействие». Это относится к силе. Другими словами, если Земля притягивает Луну с определенной силой, тогда Луна притягивает Землю с равной силой. Если бы масса Луны вдруг стала вдвое больше, то сила земного притяжения, действующая на нее, в соответствии со вторым законом тоже увеличилась бы вдвое. И конечно, притяжение Луны, действующее на Землю, тогда удвоилось бы в соответствии с третьим законом.

Аналогично, если бы удвоилась масса Земли, а не Луны, то в соответствии со вторым законом вдвое бы увеличилась сила, с ко-

торой Луна притягивает Землю, а сила земного притяжения, действующая на Луну, стала бы вдвое больше по третьему закону.

А если бы вдвое увеличились массы и Земли, и Луны, то произошло бы двойное удвоение: каждое небесное тело вдвое увеличило бы свою силу тяготения, а общее увеличение составило бы четыре раза.

С помощью таких рассуждений Ньютон мог только заключить, что сила тяготения между двумя телами во Вселенной прямо пропорциональна произведению их масс. И конечно, как он уже определил ранее, она обратно пропорциональна квадрату расстояния (от центра до центра) между этими телами. Это — закон всемирного тяготения Ньютона.

Если мы обозначим силу притяжения через f , массы двух тел — через m_1 и m_2 , а расстояние между ними — через d , тогда закон можно записать так:

$$f = \frac{Gm_1m_2}{d^2}.$$

G — это *гравитационная константа*, определив которую стало возможно «взвесить Землю» (см. главу 3). Ньютон выдвинул предположение, что G во всей Вселенной имеет постоянное значение. Со временем выяснилось, что новые планеты, которые во времена Ньютона еще не были открыты, осуществляют свое движение в соответствии с требованиями закона Ньютона. Даже двойные звезды, находящиеся невообразимо далеко от нас, танцуют в том ритме Вселенной, который определил Ньютон.

И все это стало результатом нового количественного взгляда на Вселенную, пионером которого был Галилей. Как видите, большая часть математики, которая вовлечена в описание этих явлений, очень проста. Те формулы, которые я здесь привел, входят в школьную программу.

На самом деле для осуществления величайшей интеллектуальной революции всех времен нужно было только:

1. Простая последовательность наблюдений, которые способен провести любой школьник, занимающийся физикой.
2. Простой ряд математических обобщений.
3. Величайший гений Галилея и Ньютона, которым хватило прозорливости, чтобы впервые выполнить эти наблюдения и обобщения.

ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ

Законы движения, выведенные Галилеем и Ньютоном, основывались на предположении, что существует абсолютное движение, то есть движение по отношению к чему-то неподвижному. Но все, что нам известно во Вселенной, находится в движении:

Земля, Солнце, Галактика, системы галактик. Тогда где же во Вселенной мы можем найти абсолютную неподвижность, относительно которой можно было бы измерить абсолютное движение?

Именно такая цепочка рассуждений привела к эксперименту Майкельсона и Морли. А этот эксперимент, в свою очередь, привел к перевороту, в некотором отношении такому же кардинальному, что и тот, которому положил начало Галилей (см. главу 7). В данном случае математика также остается достаточно простой.

Эксперимент Майкельсона—Морли стал попыткой определить абсолютное движение Земли относительно «эфира», которым, предположительно, было заполнено все пространство и который был неподвижным. Логически эксперимент был обоснован следующим образом.

Предположим, что луч света посылается через эфир в направлении движения Земли и что на некотором расстоянии в том направлении установлено зеркало, которое отразит свет обратно к источнику. Давайте обозначим скорость света через c , скорость движения Земли через эфир через v , а расстояние до зеркала через d . Свет начинает идти со скоростью $c + v$ — со своей собственной скоростью плюс скорость Земли. (Можно сказать, что он движется «при попутном ветре».) Время, которое ему потребуется для того, чтобы достичь зеркала, будет равно d , деленному на $(c + v)$.

Однако на обратном пути ситуация изменится. Отраженный свет теперь будет двигаться при «встречном ветре» в виде скорости Земли, и его общая скорость составит $c - v$. Время, которое ему потребуется для того, чтобы вернуться к источнику, будет равно d , деленному на $(c - v)$.

Общее время движения туда и обратно равно:

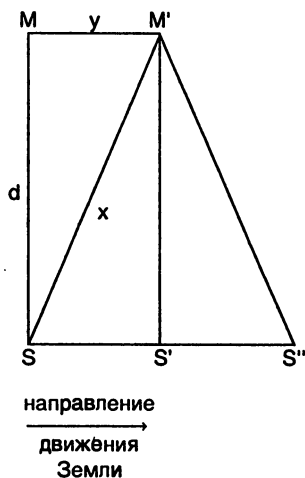
$$\frac{d}{c+v} + \frac{d}{c-v}.$$

Сложив эти выражения алгебраически, мы получим

$$\frac{d(c-v)+d(c+v)}{(c+v)(c-v)} = \frac{dc-dv+dc+dv}{c^2-v^2} = \frac{2dc}{c^2-v^2}.$$

А теперь предположим, что луч света отправлен к зеркалу, которое находится на таком же расстоянии в направлении, которое находится под прямым углом к движению Земли через эфир.

Луч света исходит из S (источника) к M (зеркалу) и проходит расстояние d . Однако за то время, которое лучу потребуется для того, чтобы достичь зеркала, движение Земли переместит зеркало из M в M' , так что в реальности траектория луча света пройдет из S в M' . Это расстояние мы обозначим как x , а расстояние от M до M' — через y .



Пока свет проходит расстояние x со скоростью c , зеркало проходит расстояние y со скоростью движения Земли v . Поскольку свет и зеркало окажутся в M' одновременно, пройденные расстояния должны быть пропорциональны соответствующим скоростям. Следовательно,

$$\frac{y}{x} = \frac{v}{c}$$

или

$$y = \frac{vx}{c}.$$

Теперь мы сможем определить значение x , используя теорему Пифагора, которая говорит, что сумма квадратов катетов прямоугольного треугольника равна квадрату гипотенузы. Тогда, подставляя в правом треугольнике SMM' величину vx/c вместо y , получаем:

$$x^2 = d^2 + \left(\frac{vx}{c}\right)^2,$$

$$x^2 - \left(\frac{vx}{c}\right)^2 = d^2,$$

$$x^2 - \frac{v^2 x^2}{c^2} = d^2,$$

$$\frac{c^2 x^2 - v^2 x^2}{c^2} = d^2,$$

$$(c^2 - v^2)x^2 = d^2 c^2,$$

$$x^2 = \frac{d^2 c^2}{c^2 - v^2},$$

$$x = \frac{dc}{\sqrt{c^2 - v^2}}.$$

Свет отражается от зеркала M' к источнику, который тем временем переместился в S' . Поскольку расстояние $S'S''$ равно SS' , расстояние $M'S''$ равно x . Все расстояние, пройденное лучом света, составит таким образом $2x$, или $2dc / \sqrt{c^2 - v^2}$.

Время, которое потребовалось лучу света, чтобы пройти это расстояние со скоростью c , равно

$$\frac{2dc}{\sqrt{c^2 - v^2}} : c = \frac{2d}{\sqrt{c^2 - v^2}}.$$

Как это выглядит в сравнении со временем, которое требуется лучу света, чтобы проделать весь путь в направлении движения Земли? Давайте разделим время $\frac{2dc}{(c^2 - v^2)}$, потребовавшееся для прохождения параллельной траектории, на время $\frac{2d}{\sqrt{c^2 - v^2}}$ в случае перпендикулярной траектории:

$$\frac{2dc}{c^2 - v^2} : \frac{2d}{\sqrt{c^2 - v^2}} = \frac{2dc}{c^2 - v^2} \times \frac{\sqrt{c^2 - v^2}}{2d} = \frac{\sqrt{c^2 - v^2}}{c^2 - v^2}.$$

Однако любое число, деленное на собственный квадратный корень, дает тот же квадратный корень, который стоит в делителе, то есть $x/\sqrt{x} = \sqrt{x}$. И наоборот, $\sqrt{x}/x = 1/\sqrt{x}$. Так что последнее выражение упрощается до $\frac{c}{\sqrt{c^2 - v^2}}$.

Это выражение можно упростить еще больше, если умножить числитель и знаменатель на $\sqrt{1/c^2}$ (что равно $1/c$).

И вот результат. Мы получили отношение времени, которое должно понадобиться свету для того, чтобы двигаться параллельно движению Земли, ко времени, которое он будет двигаться в направлении, перпендикулярном движению Земли. Для любого положительного значения v выражение $1/\sqrt{1 - v^2/c^2}$ больше 1. Следовательно, если Земля движется через неподвижный эфир, то свет в направлении движения Земли должен двигаться дольше, чем перпендикулярно ему. (На самом деле параллельное движение должно занимать максимум времени, а перпендикулярное — минимум.)

Майкельсон и Морли поставили эксперимент, с помощью которого они попытались обнаружить разницу во времени движения света. Они были уверены, что, пытаясь направить луч

света во всех направлениях и измеряя время возвращения с помощью невероятно чувствительного интерферометра, они смогут получить различие в реальной скорости. Направление, в котором скорость света будет минимальной, должно быть параллельно абсолютному движению Земли, а направление, в котором эта скорость будет максимальной, должно быть перпендикулярно движению Земли. По разности скоростей можно будет определить величину (а также направление) абсолютного движения Земли.

Им не удалось обнаружить никакого различия в скорости света при изменении направления! Иначе говоря, скорость света всегда была равна c , независимо от движения источника, что явно противоречило ньютоновским законам движения. Пытаясь измерить абсолютное движение Земли, Майкельсон и Морли, таким образом, сумели подвергнуть сомнению не только существование эфира, но и саму основу ньютоновской системы Вселенной (см. главу 7).

Ирландский физик Дж.Ф. Фицджеральд придумал, как спасти положение. Он высказал предположение, что все предметы уменьшаются в длине в направлении своего движения на величину, равную $\sqrt{1-v^2/c^2}$. Таким образом,

$$L' = L\sqrt{1-v^2/c^2},$$

где L' — это длина движущегося тела в направлении его движения, а L — это та длина, которую оно имело бы, находясь в состоянии покоя.

Фицджеральд показал, что показатель укорачивания $\sqrt{1-v^2/c^2}$ просто отменит делитель $\sqrt{1-v^2/c^2}$, который связывал максимальную и минимальную скорости света в эксперименте Майкельсона—Морли. Этот делитель превратится в единицу, и нашим укороченным приборам и органам чувств скорость света будет представляться одинаковой во всех направлениях, независимо от движения источника света через эфир.

При обычных условиях такое укорачивание очень невелико. Даже если бы тело двигалось с $1/10$ скорости света, а именно 18 628 миль в секунду, то в соответствии с уравнением Фицджеральда его длина сокращалась бы очень незначительно. Если принять скорость света за 1, то уравнение даст

$$\begin{aligned} L' &= L\sqrt{1-\left(\frac{0,1}{1}\right)^2}, \\ L' &= L\sqrt{1-0,01}, \\ L' &= L\sqrt{0,99}. \end{aligned}$$

Таким образом, величина L' примерно равна $0,995L$, то есть укорачивание составляет около половины процента.

Для движущихся тел подобные скорости имеют место только в области субатомных частиц. Укорачивание самолета, движущегося со скоростью 2000 миль в час, микроскопическое — как вы можете вычислить сами.

При какой скорости объект станет вдвое короче? Для L' равного $1/2 L$ уравнение Фицджеральда будет

$$L/2 = L\sqrt{1 - v^2/c^2},$$

или, деля все на L ,

$$\frac{1}{2} = \sqrt{1 - v^2/c^2}.$$

Возведя обе части уравнения в квадрат, получим:

$$\frac{1}{4} = 1 - v^2/c^2,$$

$$v^2/c^2 = \frac{3}{4},$$

$$v = \sqrt{3c/4} = 0,866c.$$

Поскольку скорость света в вакууме равна 186 282 милям в секунду, скорость, при которой объект укоротится вдвое, составляет $0,866 \times 186\,282$, или примерно 161 300 миль в секунду.

Если тело движется со скоростью света, так что v равно c , уравнение Фицджеральда принимает вид

$$L' = L\sqrt{1 - c^2/c^2} = L\sqrt{0} = 0.$$

Значит, при скорости света длина в направлении движения превращается в ноль. Следовательно, создается впечатление, что скорость, превышающая скорость света, существовать не может.

В течение 10 лет после того, как Фицджеральд предложил свое уравнение, был открыт электрон, и ученые начали изучать свойства крошечных заряженных частиц. Лоренц разработал теорию о том, что масса частицы с определенным зарядом обратно пропорциональна ее радиусу. Другими словами, чем меньше объем, в котором сосредоточен заряд частицы, тем больше ее масса.

А если частица уменьшается из-за своего движения, ее радиус в направлении движения сокращается в соответствии с формулой Фицджеральда. Подставив символы R и R' вместо L и L' , мы запишем уравнение

$$R' = R\sqrt{1 - v^2/c^2},$$

$$R'/R = \sqrt{1 - v^2/c^2}.$$

Масса частицы обратно пропорциональна ее радиусу. Следовательно,

$$\frac{R'}{R} = \frac{M}{M'},$$

где M — это масса частицы в состоянии покоя, а M' — ее масса в движении.

Подставив в предыдущее выражение M/M' вместо R'/R , мы получим

$$\frac{M}{M'} = \sqrt{1 - v^2/c^2},$$

$$M' = \frac{M}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}.$$

Уравнением Лоренца можно манипулировать точно так же, как уравнением Фицджеральда. Например, оно показывает, что масса M' частицы, движущейся со скоростью 18 628 миль в секунду ($1/10$ скорости света), окажется на 0,5 процента выше, чем масса покоя M . На скорости 161 300 миль в секунду кажущаяся масса частицы вдвое превысит массу покоя.

И наконец, для частицы, движущейся со скоростью, равной скорости света, так что v равна c , уравнение Лоренца принимает вид

$$M' = \frac{M}{\sqrt{1 - c^2/c^2}} = \frac{M}{0}.$$

В том случае, когда знаменатель некой дроби с постоянным числителем становится все меньше и меньше (стремится к нулю), значение самой дроби становится все больше и больше, без каких-либо ограничений. Иными словами, из приведенного выше уравнения вытекает, что масса любого объекта, движущегося со скоростью, приближающейся к скорости света, становится бесконечно большой. И снова скорость света представляется максимально достижимой.

Все это заставило Эйнштейна пересмотреть законы движения и притяжения. Другими словами, он представил Вселенную, в которой результаты экспериментов Майкельсона—Морли были ожидаемыми.

Однако и этим дело не заканчивается. Заметьте: уравнение Лоренца предполагает некое значение M , которое больше нуля. Это верно для большинства частиц, с которыми мы знакомы, и для всех объектов, от атомов до звезд, состоящих из таких частиц. Однако существуют нейтрино и антинейтрино, для которых M , масса в состоянии покоя, или *масса покоя* равна нулю. Это относится и к фотонам.

Такие частицы движутся в вакууме со скоростью света — при условии, что это действительно вакуум. С момента своего обра-

зования они начинают двигаться с этой скоростью, без какого бы то ни было поддающегося измерению периода ускорения.

Мы можем спросить, допустимо ли говорить о «массе покоя» фотона или нейтрино, если они никогда не бывают неподвижными, а существуют только пока движутся (в отсутствие препятствующей им материи) с постоянной скоростью 186 280 миль в секунду. Физики О.М. Биланюк и Э.Ч.Дж. Сударшан предложили называть M «собственной массой». Для частицы с массой больше нуля собственная масса равна массе, полученной при таком измерении, когда частица находится в состоянии покоя относительно прибора и наблюдателя, ведущего измерения. Для частицы с массой равной нулю собственная масса находится путем косвенных рассуждений. Биланюк и Сударшан также предложили называть частицы, собственная масса которых равна нулю, *люксонами* (от латинского слова, обозначающего «свет»), поскольку они перемещаются со скоростью света, тогда как частицы с собственной массой большей нуля будут называться *тардионами*, поскольку они движутся со скоростью меньшей скорости света, или *субсветовой*.

В 1962 году Биланюк и Сударшан начали размышлять над следствиями скоростей, превышающих скорость света (суперсветовых скоростей). Любая частица, движущаяся со скоростью, превышающей скорость света, будет иметь мнимую массу. То есть их масса будет равна какой-либо обычной величине, умноженной на корень квадратный из -1 .

Например, предположим, что какая-то частица движется со скоростью вдвое большей скорости света, так что в уравнении Лоренца $v = 2c$. В этом случае

$$M' = \frac{M}{\sqrt{1 - (2c)^2 / c^2}} = \frac{M}{\sqrt{1 - 4c^2 / c^2}} = \frac{M}{\sqrt{-3}}.$$

Это означает, что во время движения ее масса будет равна какой-то собственной массе (M), деленной на $\sqrt{-3}$. Но $\sqrt{-3}$ равен $\sqrt{3} \times \sqrt{-1}$, и, следовательно, на $1,74\sqrt{-1}$. Тогда собственная масса M равна $M' \times 1,74 \times \sqrt{-1}$. Поскольку любая величина, включающая в себя $\sqrt{-1}$, называется мнимой, мы приходим к выводу, что частицы со сверхсветовой скоростью должны иметь мнимую собственную массу.

Обычные частицы в нашей обычной Вселенной всегда имеют массы, которые равны нулю или положительны. Мнимая масса в нашей Вселенной не может иметь никакого смысла. Означает ли это, что частицы, движущиеся быстрее скорости света, не могут существовать?

Не обязательно. Допустив существование мнимых собственных масс, мы можем заставить такие частицы соответствовать всем уравнениям специальной теории относительности Эйнштейна. Однако

такие частицы обладают парадоксальным свойством: чем медленнее они движутся, тем большей энергией обладают. Эта ситуация прямо противоположна той, что существует в нашей Вселенной, — и, возможно, именно в этом заключается смысл мнимой массы. Частица с мнимой массой ускоряется тогда, когда встречает сопротивление, и замедляется тогда, когда ее подталкивает какая-то сила. По мере уменьшения энергии она движется все быстрее и быстрее, так что при нулевой энергии она движется с бесконечной скоростью. По мере возрастания энергии она замедляется все сильнее, пока, с приближением ее энергии к бесконечности, почти не замедляется до скорости света.

Такие частицы, движущиеся быстрее скорости света, американский физик Джеральд Фейнберг назвал *тахиионами*, от греческого слова, означающего «быстрые».

Таким образом, мы можем представить существование двух видов вселенных. Одна, наша собственная, — это Вселенная тардионов, в которой все частицы движутся с субсветовой скоростью и при увеличении их энергии могут ускориться почти до скорости света. Вторая вселенная — это Вселенная тахионов, в которой все частицы движутся со сверхсветовыми скоростями и могут замедляться почти до скорости света, когда их энергия увеличивается. Между ними существует бесконечно тонкая *люксоновая стена*, в которой существуют частицы, движущиеся со скоростью, точно равной скорости света. Люксоновую стену можно считать принадлежащей двум вселенным одновременно.

Если тахион обладает достаточно высокой энергией и поэтому движется медленно, у него может хватить энергии на то, чтобы остаться на месте настолько долго, что он вызовет заметную вспышку фотонов. (Тахионы даже в вакууме оставляют фотонный след, подобный эффекту Черенкова.) Ученые ищут такие вспышки, но шансы на то, что измерительный прибор окажется как раз в том месте, где произойдет одна из подобных вспышек (которые, возможно, весьма редки), не слишком велики.

Некоторые физики утверждают, что «все, что не запрещено, обязательно». Иначе говоря, любое явление, которое не нарушает закона сохранения энергии и материи, в какой-то момент обязательно должно произойти. То есть если тахионы не нарушают специальной теории относительности, они должны существовать. Тем не менее даже те физики, которые верят в это в силу некоей обязательной «четкости» Вселенной, с радостью (или даже с облегчением) получили бы хоть какие-то свидетельства о существовании запрещенных тахионов. Пока им это сделать не удалось.

Из уравнения Лоренца Эйнштейн вывел одно следствие, которое, наверное, стало самой знаменитой научной формулой всех времен.

Уравнение Лоренца можно записать в форме

$$M' = M(1 - v^2/c^2)^{-1/2},$$

поскольку в алгебре $1/\sqrt{x}$ можно записать как $x^{-1/2}$. Это придает данному уравнению такую форму, которую можно разложить (то есть превратить в ряд выражений) с помощью формулы, открытой — кем бы вы думали? — Ньютоном. Эта формула — бином Ньютона.

Число членов, на которые можно разложить уравнение Лоренца, бесконечно, но поскольку каждый член меньше предыдущего, то, уже взяв первые два члена, вы получаете приблизительно верный результат, а сумма всех остальных членов достаточно мала, чтобы ею можно было пренебречь. Выражение принимает вид

$$(1 - v^2/c^2)^{-1/2} = 1 + \frac{1}{2} \frac{v^2}{c^2} + \dots$$

Подставив это в уравнение Лоренца, мы получим

$$M' = M \left(1 + \frac{1}{2} \frac{v^2}{c^2} \right) = M + \frac{1}{2} \frac{Mv^2}{c^2}.$$

В классической физике выражение $\frac{1}{2}Mv^2$ представляет энергию движущегося тела. Если мы обозначим энергию через e , то это уравнение примет вид

$$M' = M + e/c^2,$$

или

$$M' - M = e/c^2.$$

Это увеличение массы ($M' - M$), вызванное движением, можно обозначить как m , и тогда

$$m = e/c^2,$$

или

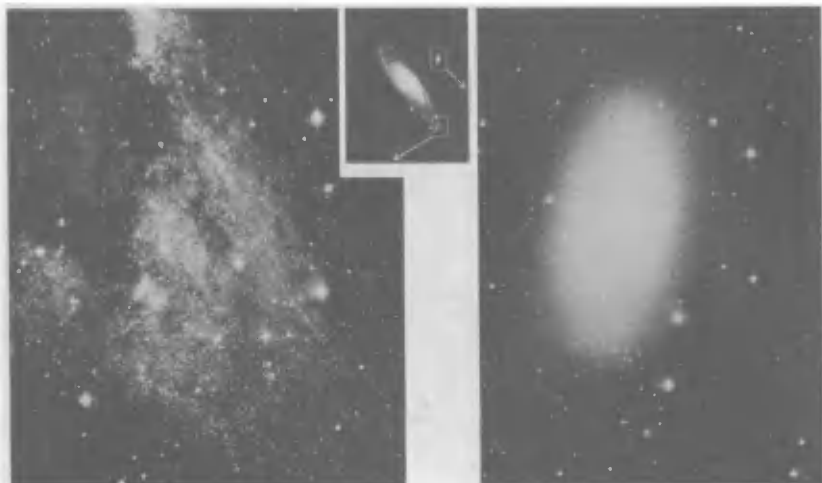
$$e = mc^2.$$

Именно это уравнение впервые указало на то, что масса является видом энергии. Далее Эйнштейн показал, что это уравнение применимо к любой массе, а не только к увеличению массы, обусловленному движением.

И в данном случае большая часть математических выкладок остается на уровне средней школы. Однако они представили миру взгляд на Вселенную, который стал более широким, нежели взгляд Ньютона, а также проложили дорогу к конкретным следствиям. Например, они указали путь к созданию ядерного реактора и атомной бомбы.



Спиральная галактика Туманность Андромеды

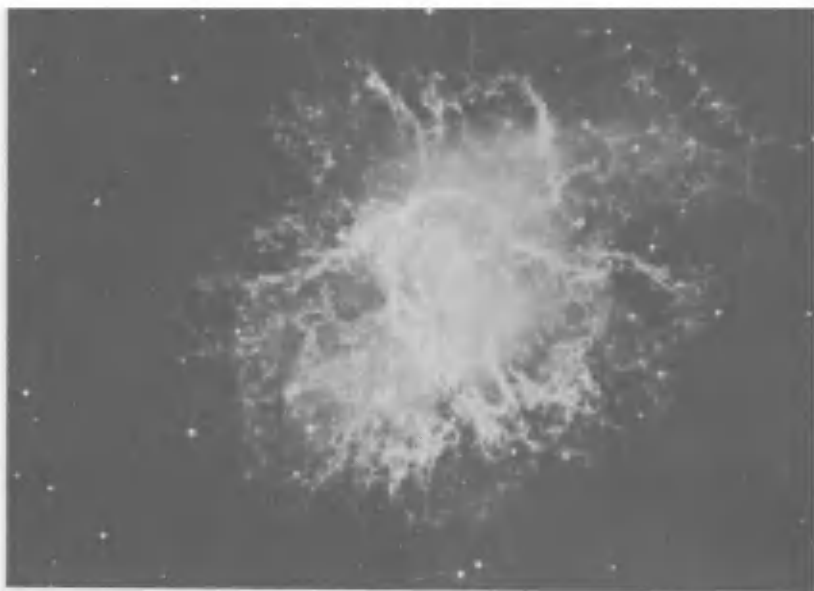


Звездные населения I и II типа.

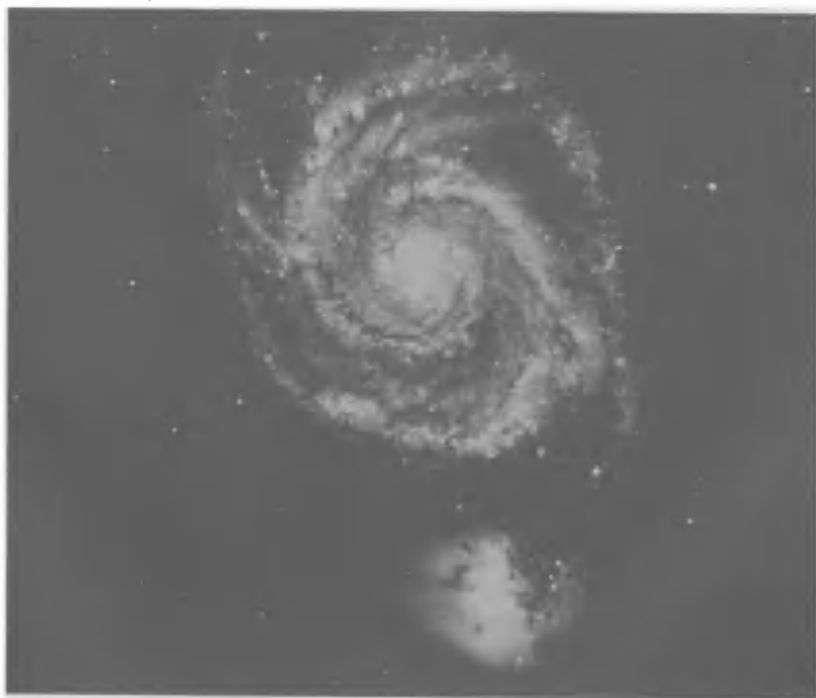
Слева спиральный рукав галактики Андромеды демонстрирует гигантские и супер-гигантские звезды населения I типа; справа галактика NGC205, спутник галактики Андромеды, демонстрирует звезды населения II типа, самые яркие из них — красные звезды, которые в 100 раз ярче, чем синие гиганты населения I типа. (Большие звезды, которые находятся на переднем плане на обеих фотографиях, принадлежат Млечному Пути)



Спиральная галактика Волосы Вероники, видимая с торца



Крабовидная туманность — остаток взрыва сверхновой



Спиральная галактика Водоворот в Гончих Псах



Туманность Конская Голова в созвездии Орион



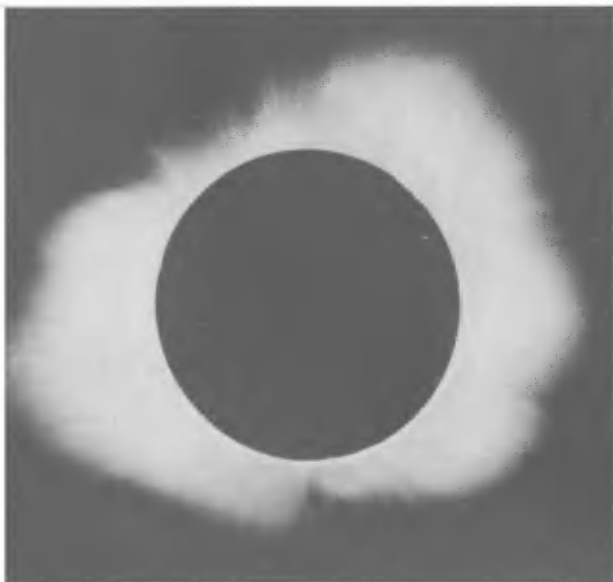
Шаровидное скопление в созвездии Гончие Псы



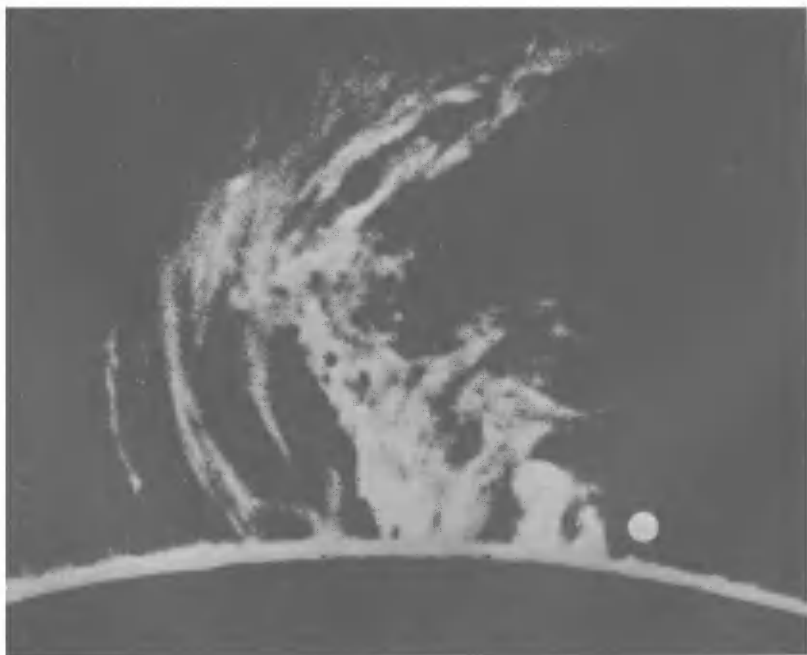
Радиотелескоп Корнеллского университета, диаметром 1000 футов, расположенный в чаше кратера Аресибо



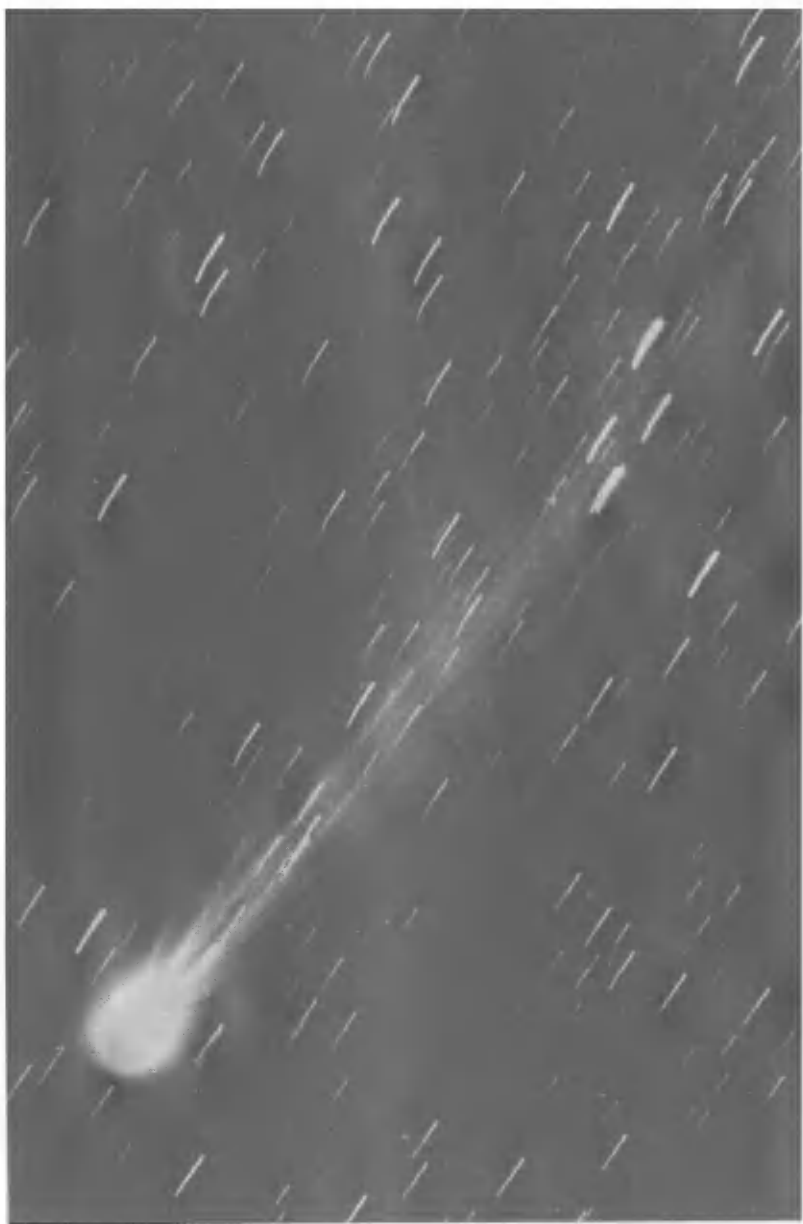
250-футовый радиотелескоп в Джодрелл-Бэнк



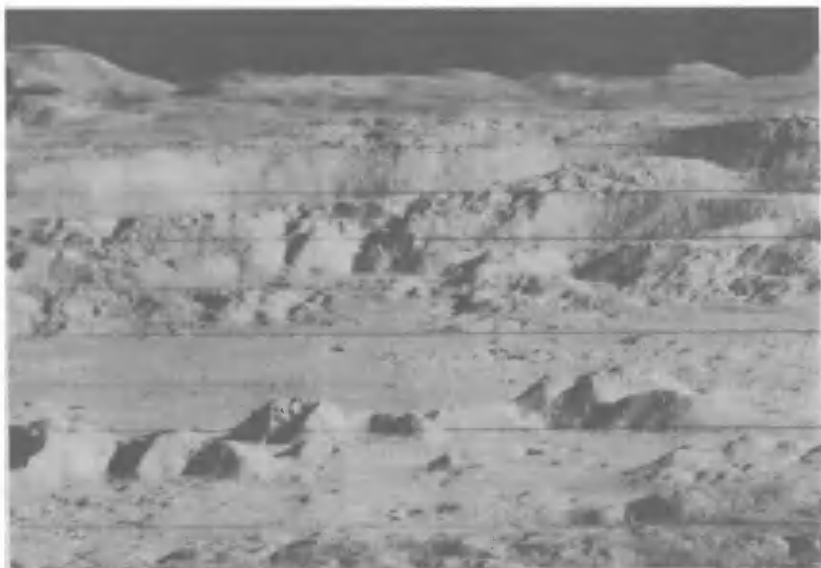
Солнечная корона



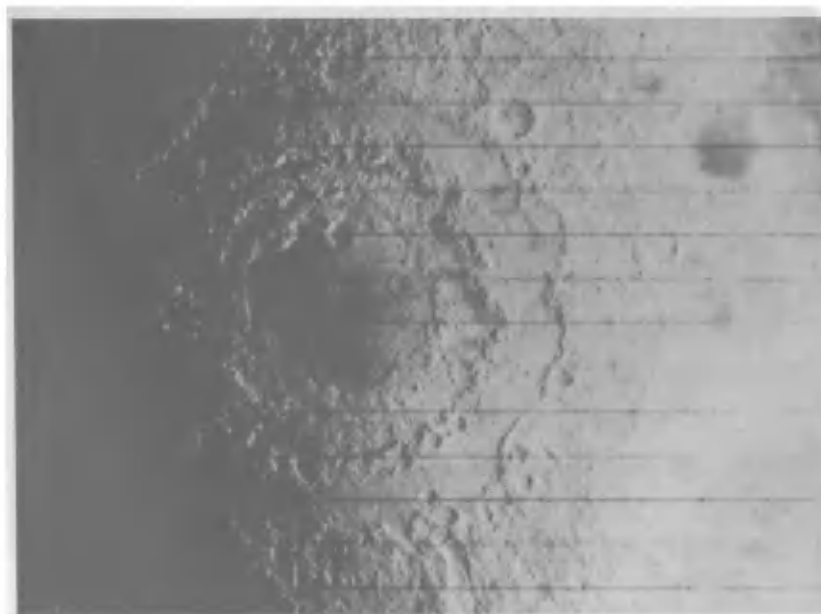
Солнечная вспышка, простирающаяся на 140 000 миль. Белый круг представляет Землю в том же масштабе



Комета Дэниела, сфотографированная 17 июля 1917 года. Короткие полоски — звезды



Эта фотография кратера Коперника была сделана с высоты 28,4 мили над поверхностью Луны с «Лунар орбитер-2». Зонды «Лунар орбитер» запускались США в 1966–1967 годах



Восточное море, сфотографированное с высоты 1690 миль над поверхностью Луны



Астронавт Эдвин Олдрин-младший, сфотографирован гуляющим около лунного модуля. Экспедиция «Аполлон-11»



Конкреции на краю низменности оазиса Карга в пустыне Западного Египта. Они возникли из известковых отложений подземных вод в полостях скал, сформировавшихся в эоцене, и остались на поверхности после того, как скала разрушилась. Поверхность конкреций сильно изрезана струями песка



Структура ледника, видная во фьорде Франца-Иосифа в Северо-Восточной Гренландии



Русский химик Дмитрий Иванович Менделеев поднялся на воздушном шаре для изучения атмосферы



Подготовка к полету: астронавт входит в отсек космического корабля



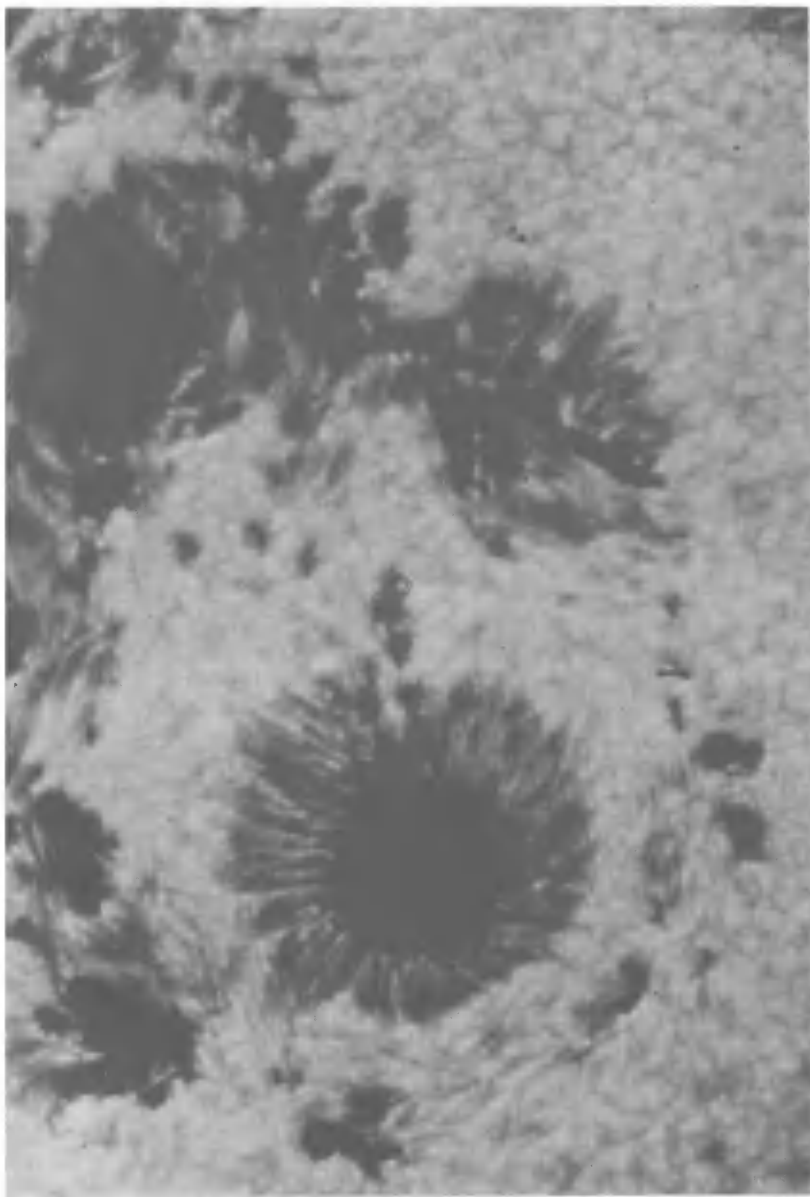
Запуск первого американского спутника, «Эксплорер-1», 31 января 1958 года



Космонавт «гуляет» в космосе, летая в невесомости на небольшом удалении от советского космического корабля «Восход-2». Алексей Леонов 18 марта 1965 года стал первым человеком, который покинул космический аппарат в космосе. Леонов и его корабль двигались в этот момент со скоростью 18 000 миль в час. На фотографии снизу Леонов делает переворот через голову. Спасательный канат позволяет ему вернуться назад после отталкивания от корабля. Если бы этот канат разорвался, Леонов мог остаться на орбите



Американская «прогулка» в космосе. Следом за русским космонавтом во время осуществления американской программы «Джемини» astronaut Эдвард Уайт получил возможность осуществить свободный полет на орбите 8 июня 1965 года. Фотография astronaut Уайта была сделана майором Джеймсом Макдивиттом, который наблюдал за Уайтом через иллюминатор и объектив установленной на корабле кинокамеры



Солнечные пятна, сфотографированные с особой резкостью во время американского проекта «Стратоскоуп». Солнечное пятно состоит из темного ядра сравнительно холодных газов, заключенных в сильное магнитное поле. Эта группа особенно активных пятен вызывает на Земле мощнейшие магнитные бури



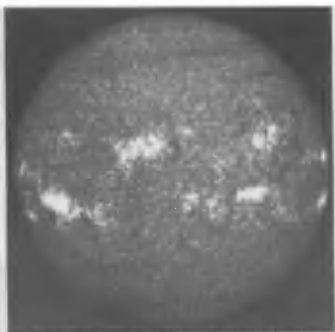
27 августа 1954 года



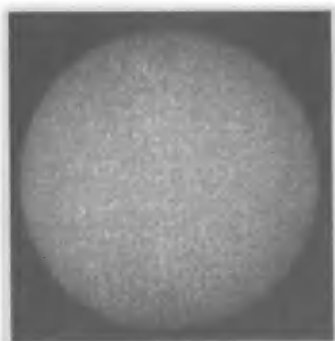
2 августа 1956 года



25 мая 1958 года

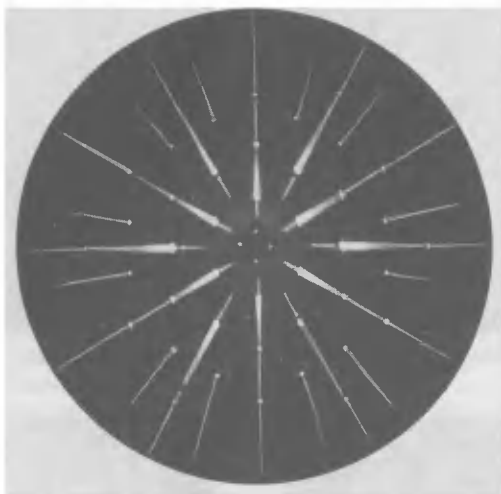


17 июля 1961 года



26 июня 1964 года

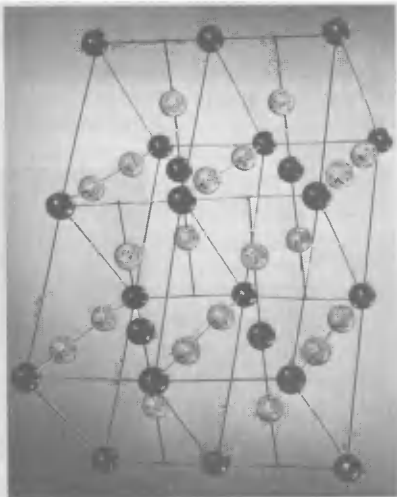
Международный год спокойного Солнца – проводившееся на протяжении двух лет международное мероприятие, в работе которого приняло участие 69 стран, началось 1 января 1964 года. Эта серия фотографий показывает изменение активности Солнца от минимума до максимума и снова до минимума. Наиболее важная информация может быть получена только в период нечастых возмущений на Солнце



Рентгеновская фотография монокристалла льда, показывающая симметрию и равновесие физических сил, удерживающих кристаллическую структуру



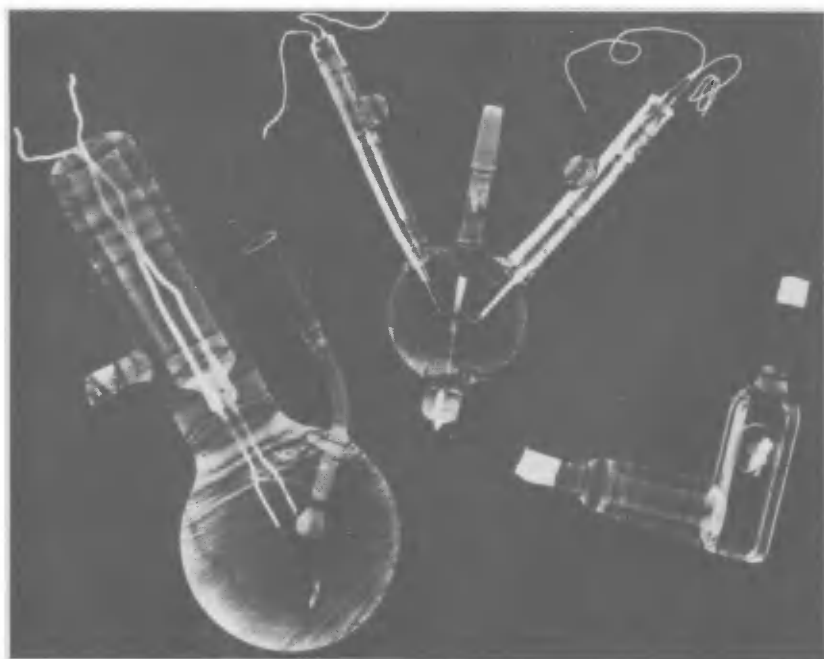
Кусок урановой руды. Черные участки — урановая смолка (оксид урана); в нижнем левом углу фотография, на которой зафиксировано радиационное излучение образца



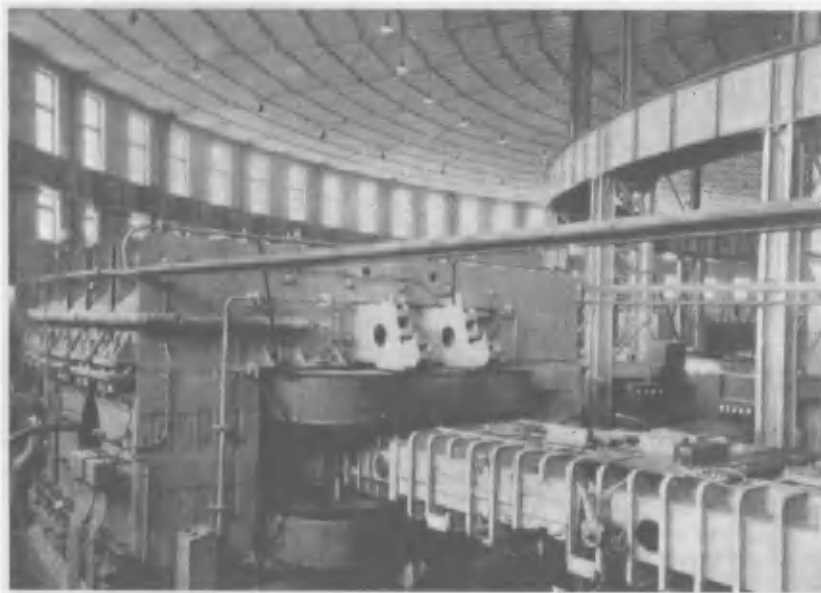
Молекулярная модель кристаллического оксида титана, используемого в качестве транзистора. В результате удаления из решетки кислородных атомов (светлые шарики) соединение приобретает полупроводниковые свойства



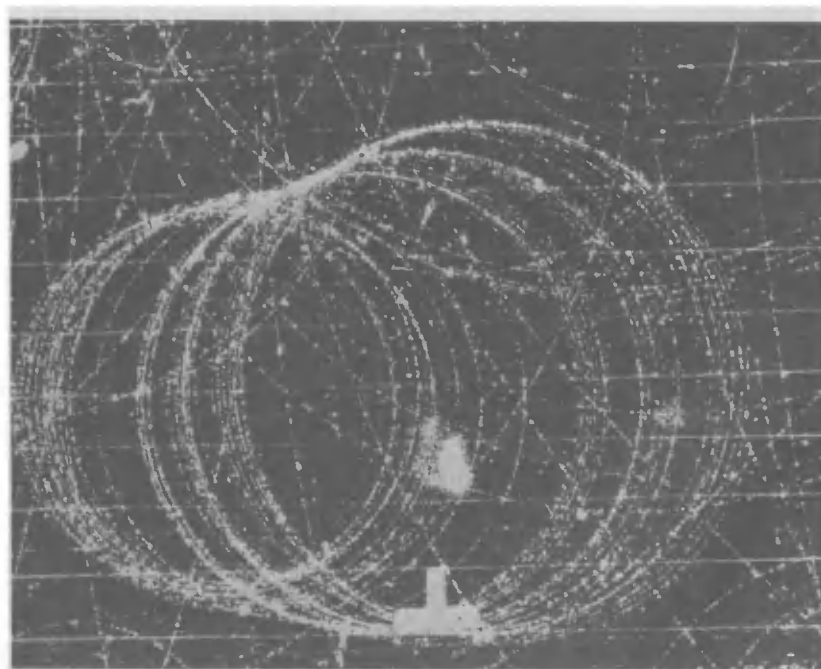
Типичные образцы кристаллов для изучения полупроводниковых свойств и физики твердого тела. На снимке — кристаллы теллурида висмута, а также индий-сурьмяного сплава



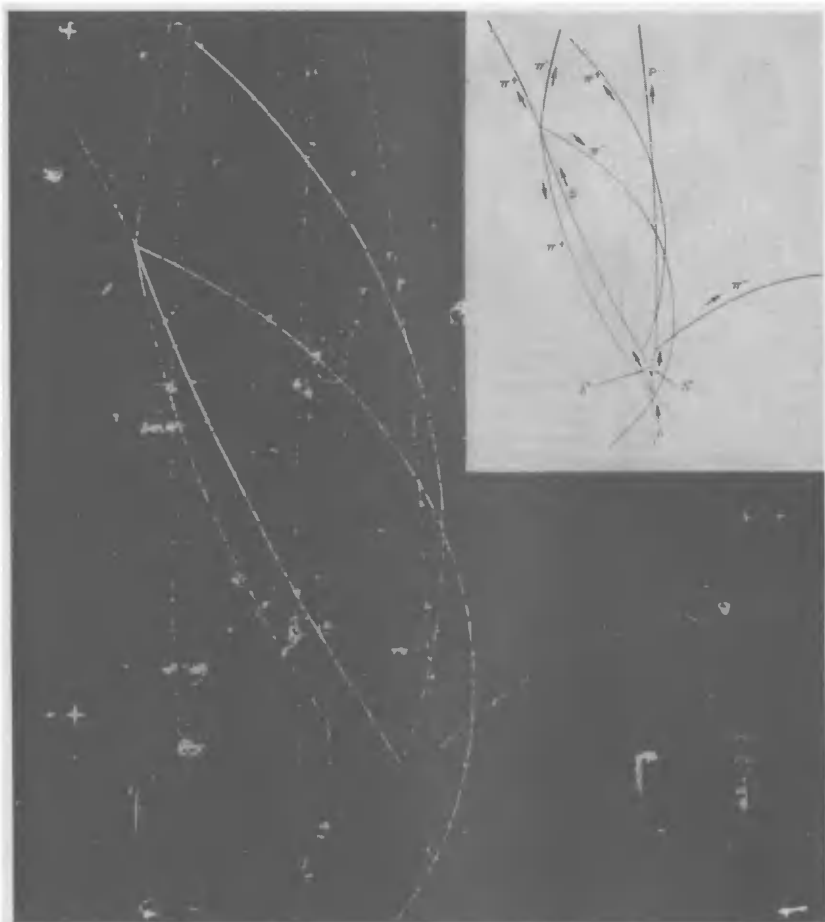
Детали высоковакуумной установки для изучения химических реакций простых газов с высокочистыми металлами и полупроводниковыми материалами



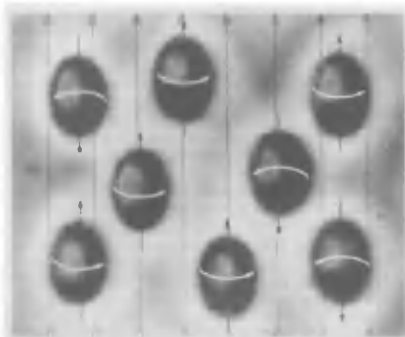
Созданный советскими специалистами фазотрон разгоняет частицы до 10 ГэВ



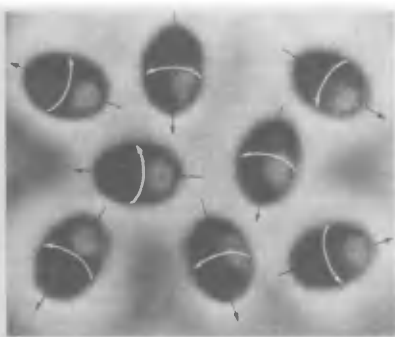
Электронные и позитронные следы, зафиксированные в пузырьковой камере с помощью гамма-излучения высокой энергии. Круговые следы относятся к электронам, вращающимся в магнитном поле



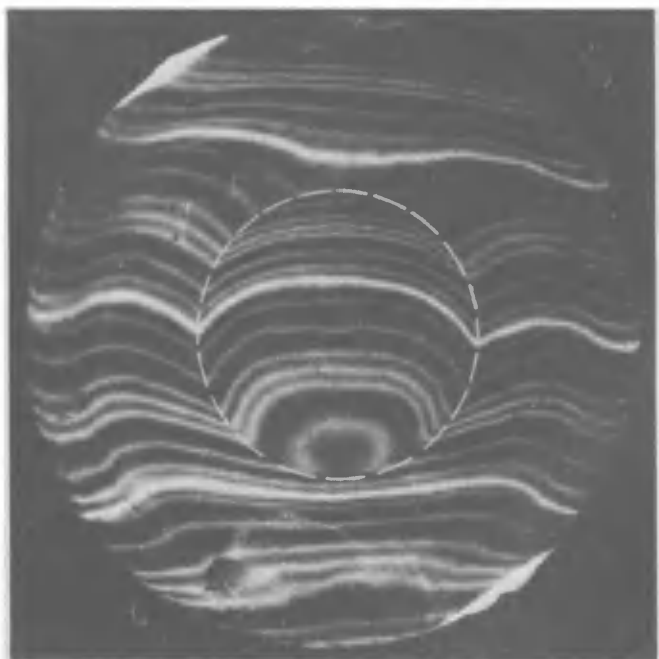
Результат взаимодействия антипротона с лямбда-частицами. Фотография сделана с помощью большой пузырьковой камеры, установленной в радиационной лаборатории Калифорнийского университета. На снимке видно, как антипротон (p) из ускорителя перемещался в направлении дна пузырьковой камеры; там, где его след обрывается, виден пропуск (пунктирные линии), который свидетельствует о присутствии необнаруженных лямбда- и антилямбда-частиц. Далее антилямбда распалась на положительный пи-мезон и антипротон, который распался на четыре пи-мезона (в верхнем левом углу); а лямбда-частица распалась на протон и отрицательный пи-мезон (правая часть разветвления)



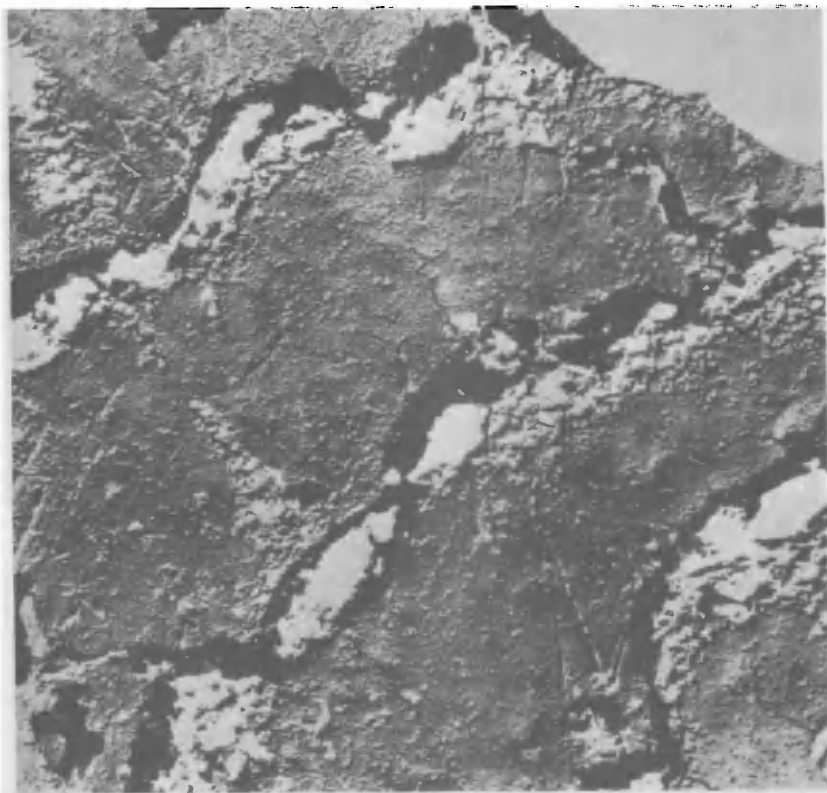
Схематическое изображение хаотически разбросанных протонов, вращающихся вокруг оси в различных направлениях. Белые стрелки обозначают направление вращения



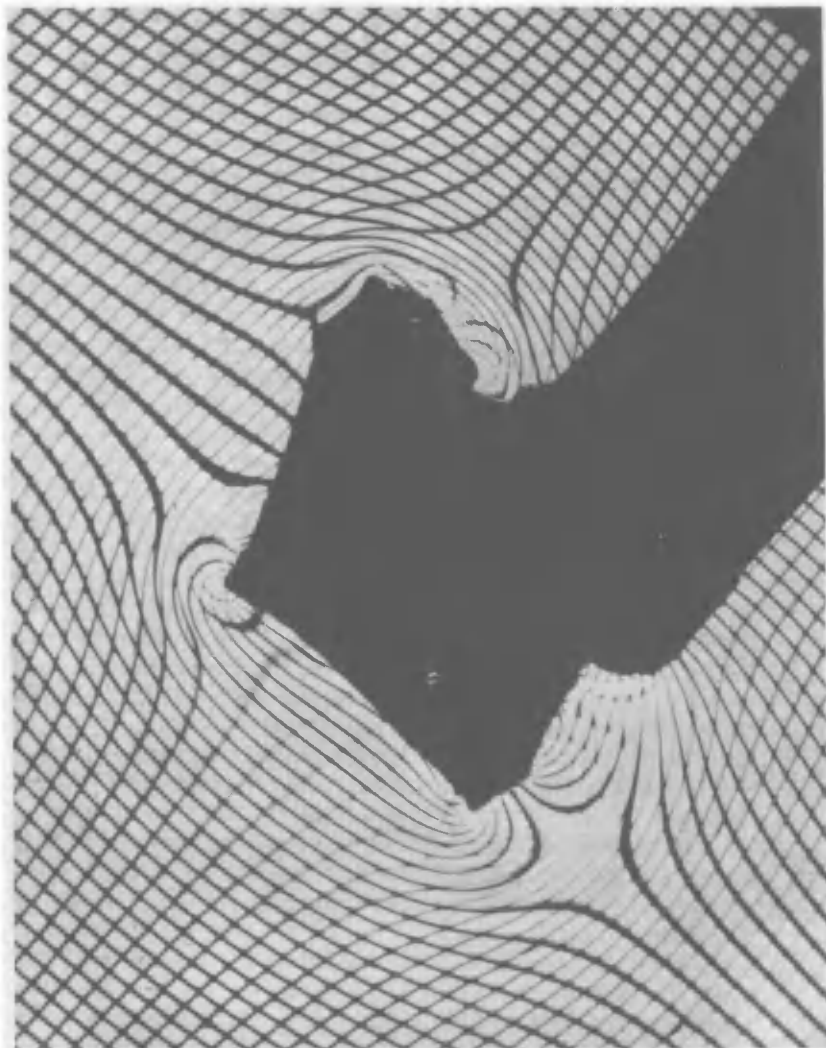
Те же протоны под действием магнитного поля. В таком «спиновозбужденном» состоянии они ориентируются в двух противоположных направлениях



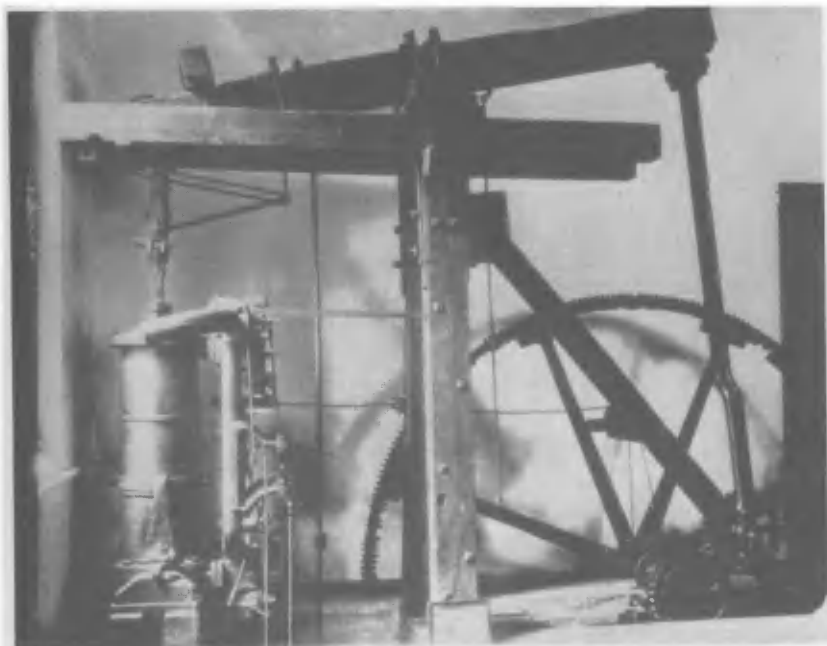
Контурная структура полированного куска металла, полученная методом интерференции световых волн. Средняя толщина контурных линий на снимке около $2,5 \times 10^{-3}$ миллиметров



Поверхность человеческого волоса. Фотография сделана с помощью электронного микроскопа



Электрическое поле вокруг заряженного кристалла. Фотография сделана на электронном микроскопе теньевым способом. Для этого использована сверхтонкая проволочная сетка; по ее искажению, вызванному отклонением электронов, можно судить о форме и силе электрического поля



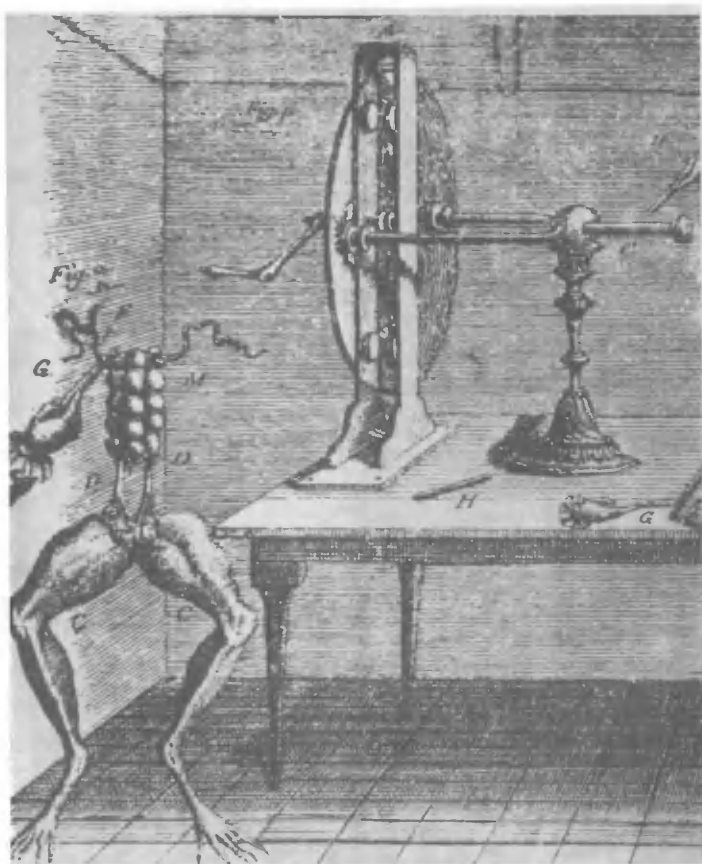
Паровая машина Дж. Уатта



Паровоз Дж. Стефенсона



Паровая лодка Дж. Фитча



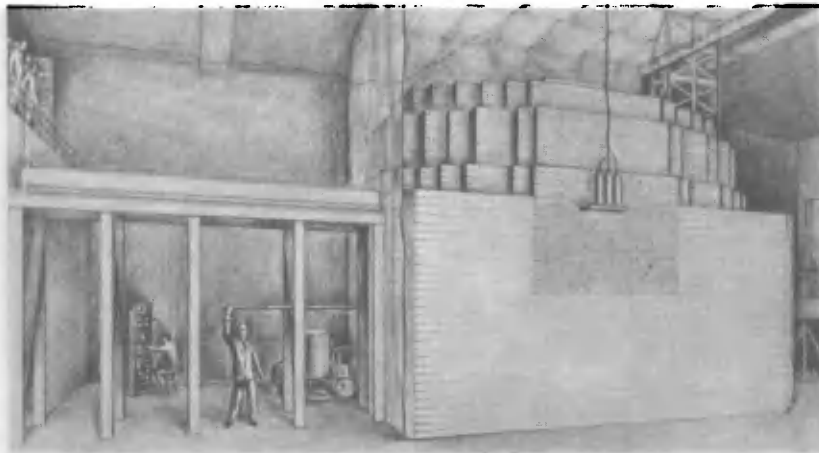
Опыт Гальвани, в результате которого был открыт электрический ток. Электрический разряд от электростатической машины заставляет дергаться лягушачью лапку; было установлено, что такой же эффект наблюдается, если к лапке прикоснуться одновременно двумя разными металлами



Предварительная подготовка американской ракеты-носителя «Сатурн-5» для полета на лунную орбиту и высадки астронавтов на Луну. Грузовик доставляет возвращаемую капсулу на мыс Кеннеди, где та будет смонтирована с главной ступенью ракеты и подготовлена к запуску. В то время это была самая мощная в мире ракета-носитель, работавшая на водородном топливе



Зрительный образ радиоактивности. В специальном контейнере под метровым слоем воды светится радиоактивный тантал, полученный в результате облучения на реакторе в Брукхевенской лаборатории. Этот источник, имеющий активность 1000 кюри, затем будет помещен в показанную на фотографии трубку и потом в свинцовый контейнер, после чего отправится в заводскую лабораторию



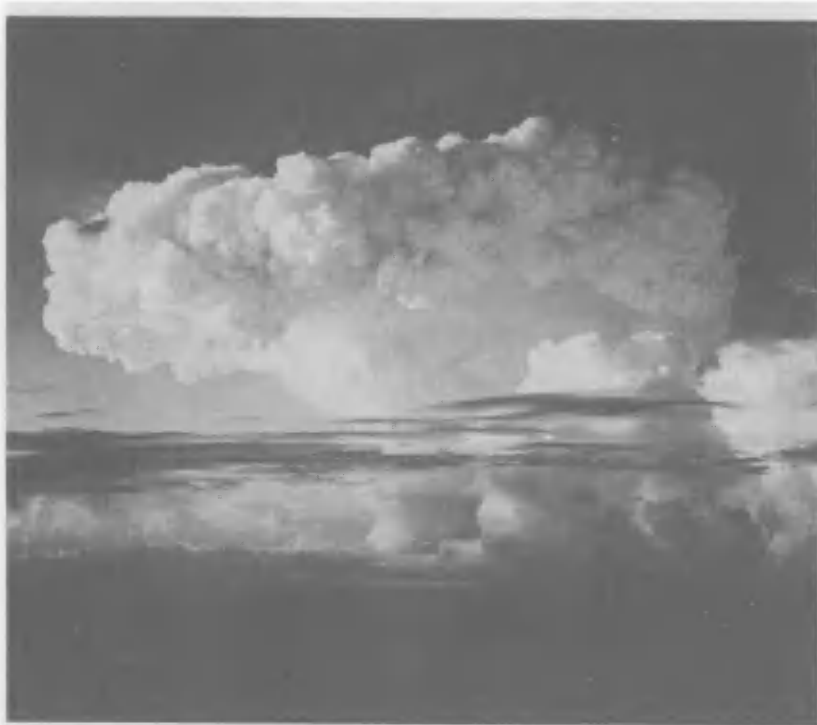
Один из первых цепных реакторов, который располагался под стадионом в Чикаго



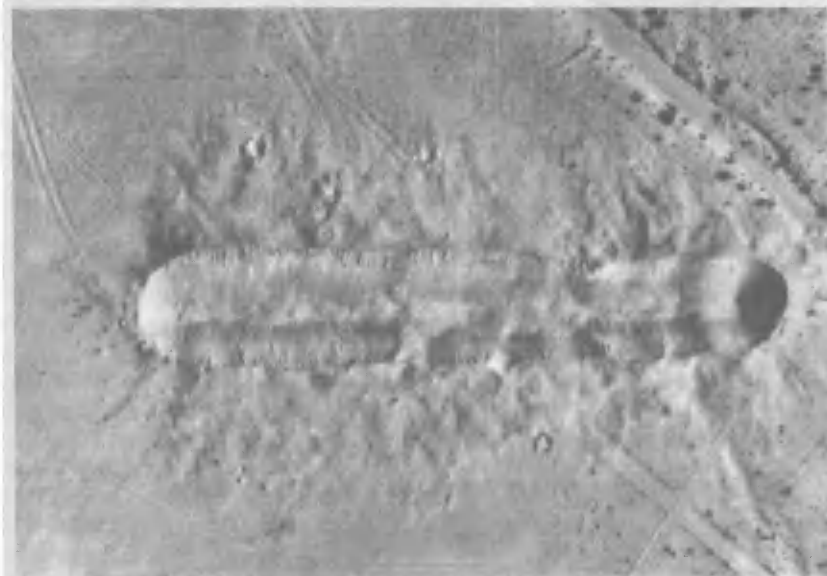
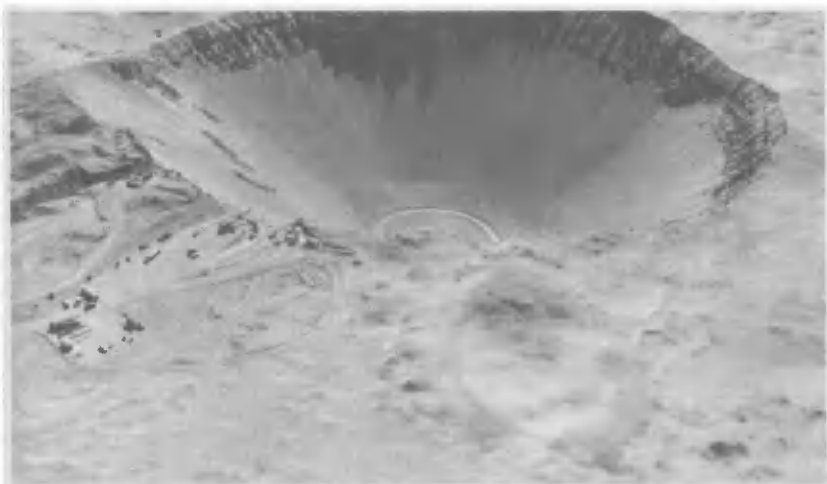
Строительство чикагского реактора. Единственная фотография, сделанная в то время. Стержни в отверстиях — цилиндрические урановые сборки. Показан момент укладки 19-го слоя графитовых блоков (замедлителя)



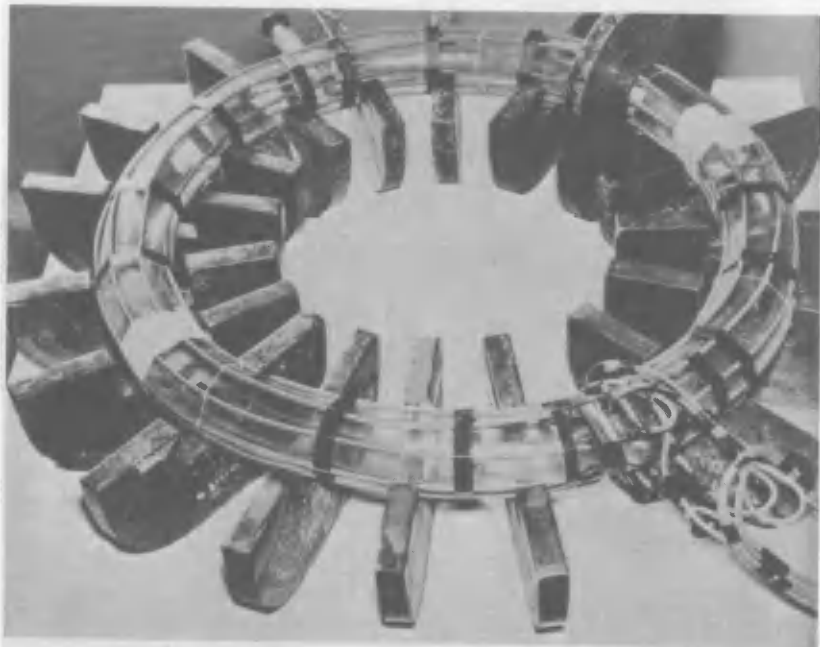
Центральная часть ядерного реактора одной из атомных электростанций, расположенной в Шиппингпорте (штат Пенсильвания)



Взрыв первой водородной бомбы на атолле Бикини 1 марта 1954 года



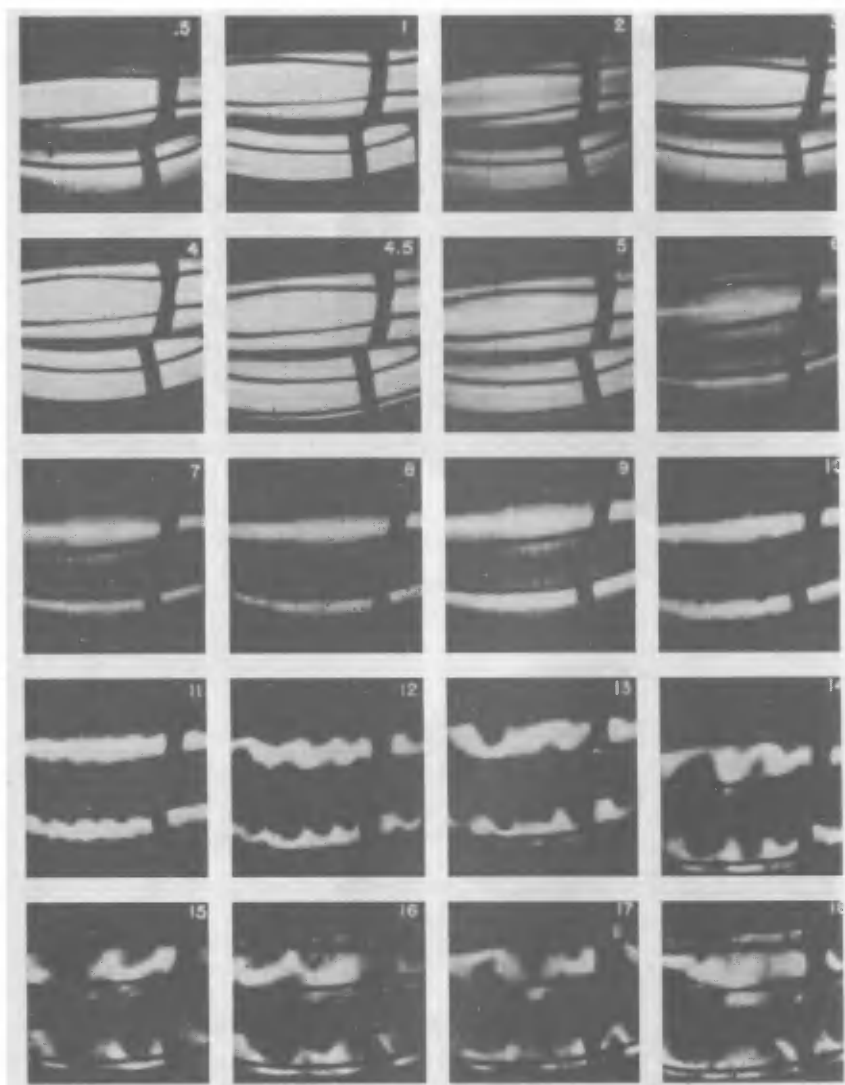
В результате ядерного взрыва сдвигаются огромные массивы земного грунта, поэтому его можно эффективно использовать для проведения крупномасштабных строительных работ, например для рытья каналов. На верхнем снимке показан кратер, образовавшийся в результате подземного ядерного взрыва мощностью 100 килотонн. На нижней фотографии, сделанной в ходе аэрофотосъемки, показаны результаты 13 последовательных химических взрывов. При рытье канала может потребоваться до 300 ядерных взрывов



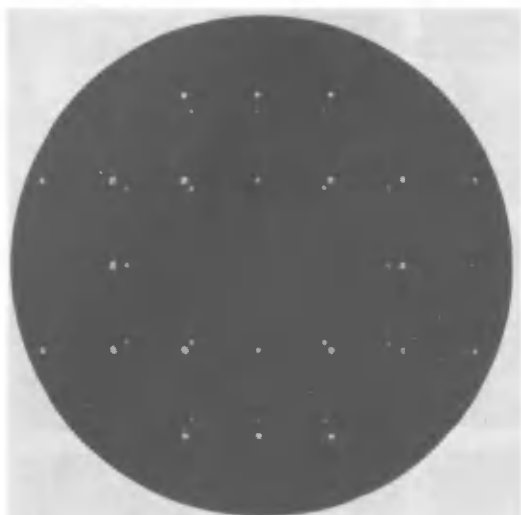
Пергапсатрон — установка термоядерного синтеза в Лос-Аламосе (США), предназначенная для изучения пинч-эффекта (эффекта сжатия) в плазме. Стальные блоки, расположенные под замкнутой трубкой плазмотрона, — сердечники будущих магнитов (один из них уже смонтирован), которые разгоняют плазму



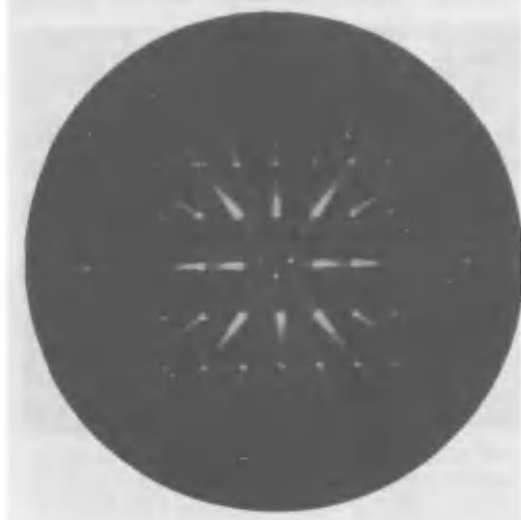
Фотография сжатой плазмы, полученной в пергапсатроне



Жизнь и смерть концентрированной плазмы. На этой серии снимков представлена краткая история пучка плазмы в магнитном поле плазмотрона. На каждой фотографии плазма представлена в двух видах — сбоку и снизу от зеркала. Сжатая плазма просуществовала несколько миллионных долей секунды; цифры на каждом снимке — время в микросекундах



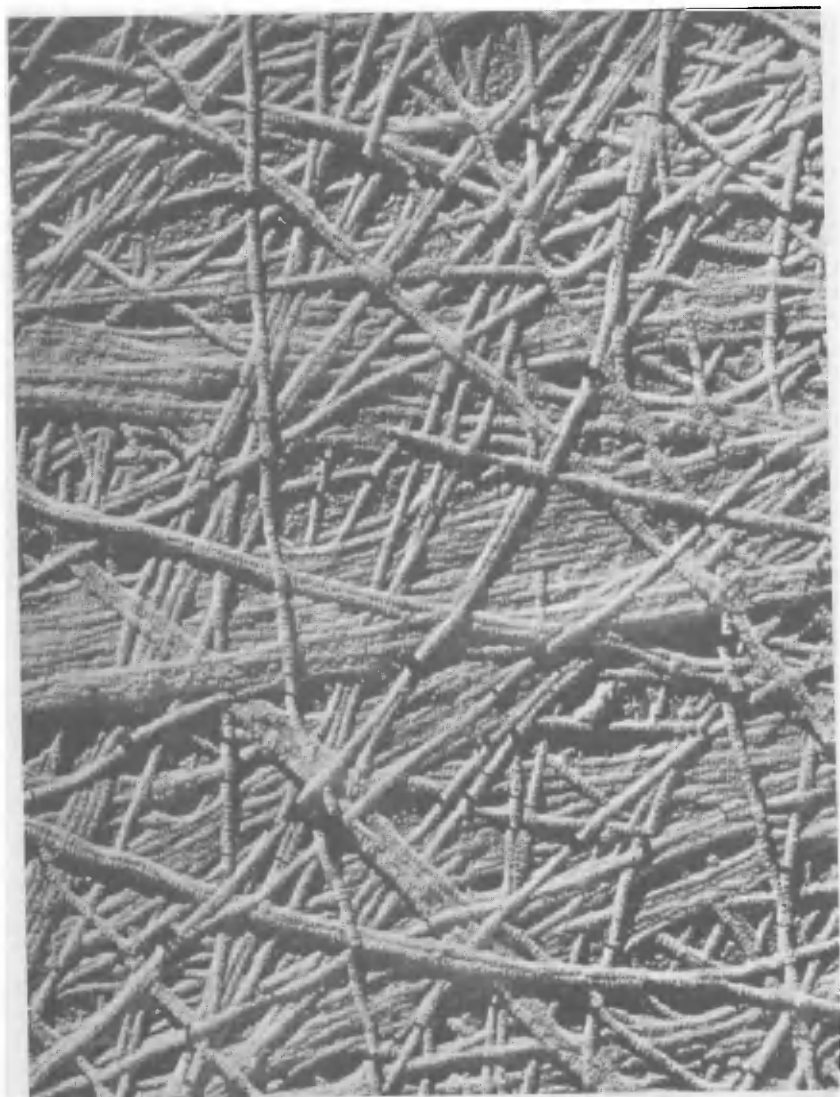
Изображение мочевины, полученное методом преломления рентгеновских лучей. На фотографии видно расположение атомов в монослое кристаллов мочевины (вид на монослой сверху)



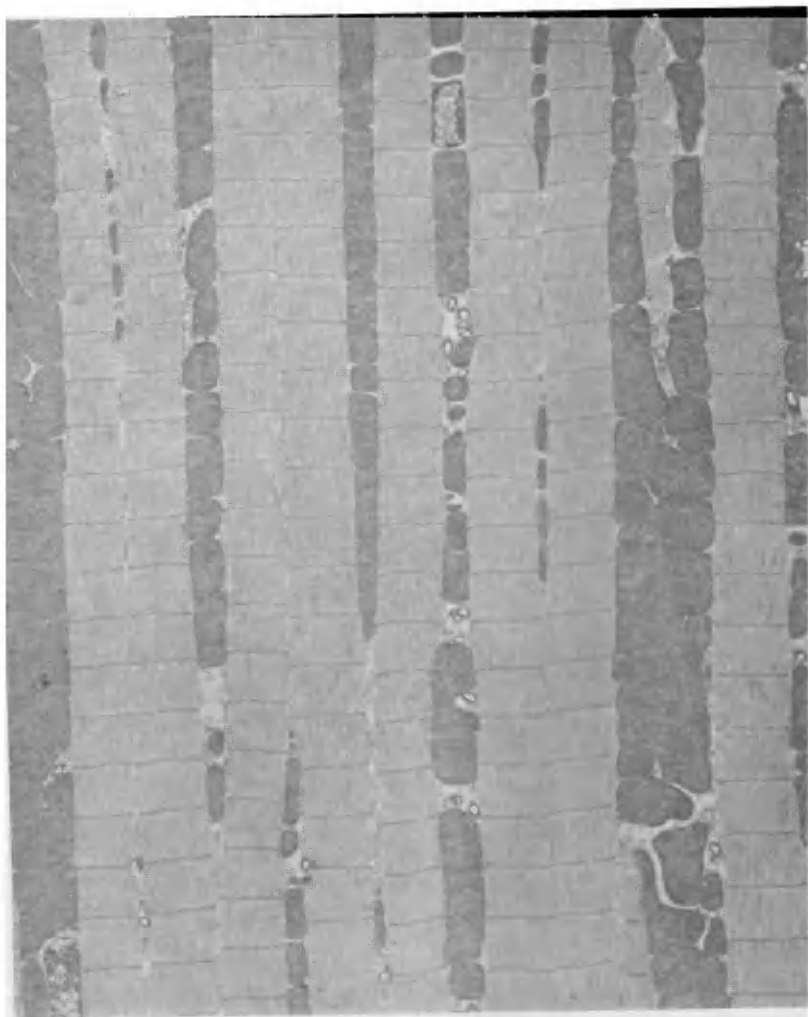
Изображение восьмичленного кольца циклооктатетраена, полученное методом преломления рентгеновских лучей. В кольцо этого органического соединения одинарные и двойные связи чередуются, как и в кольце бензола, но, в отличие от бензола, кольцо состоит из восьми атомов углерода



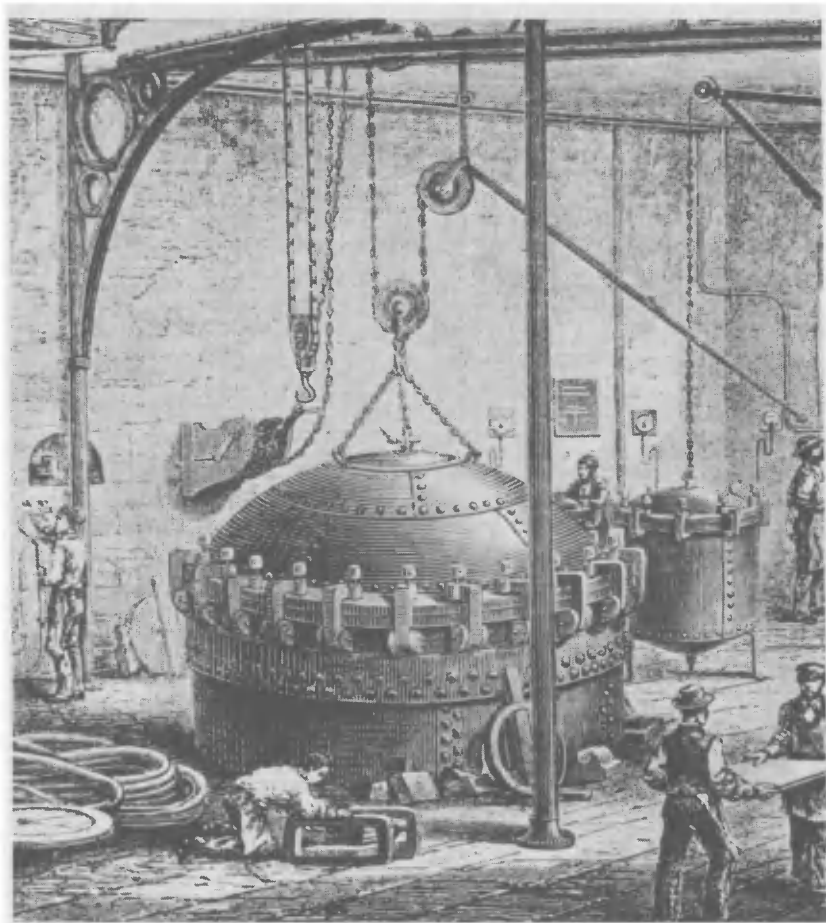
Так выглядят шелковые волокна под электронным микроскопом. Увеличение примерно в 6000 раз



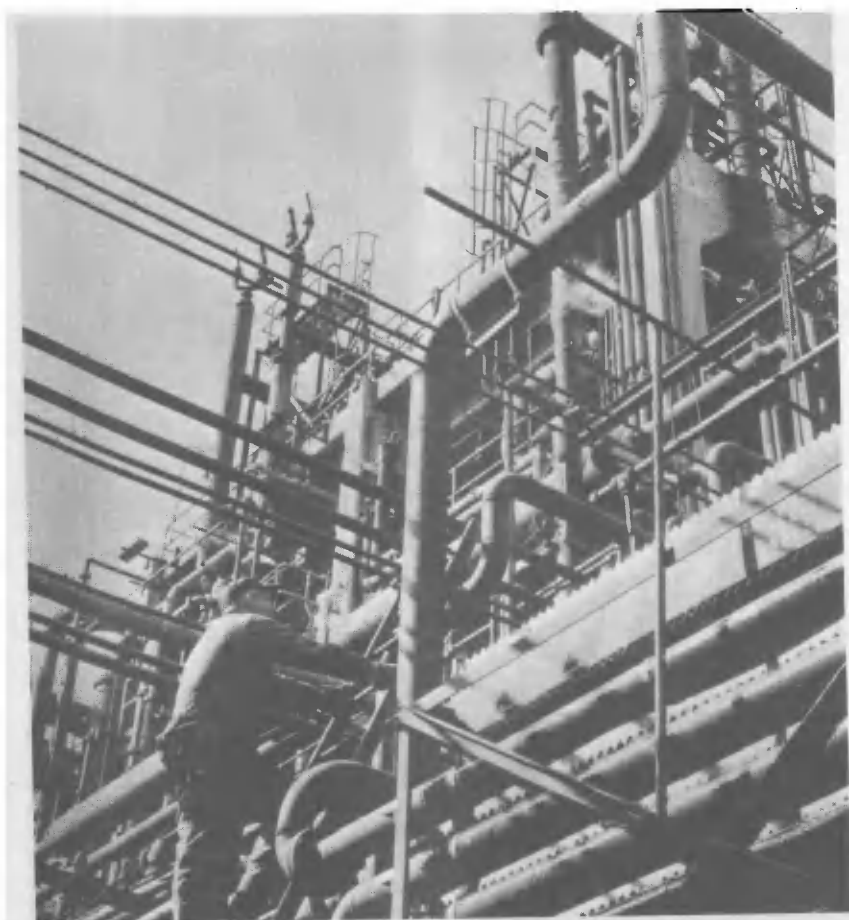
Так выглядят под электронным микроскопом нити коллагена. Обратите внимание на то, как нити соединяются в пучки



Разрез мышечного волокна под электронным микроскопом. Серые исчерченные структуры — это фибриллы, темные тела — митохондрии, в которых содержатся ферменты, участвующие в реакциях, протекающих с выделением энергии. Образец мышечной ткани взят из летательных мышц жука



Вулканизация каучука на одном из заводов середины XIX века. Слева видны готовые резиновые покрышки



Современный завод по производству пластмасс, на котором изготовляют винипласт



Нормальные хромосомы дрозофилы



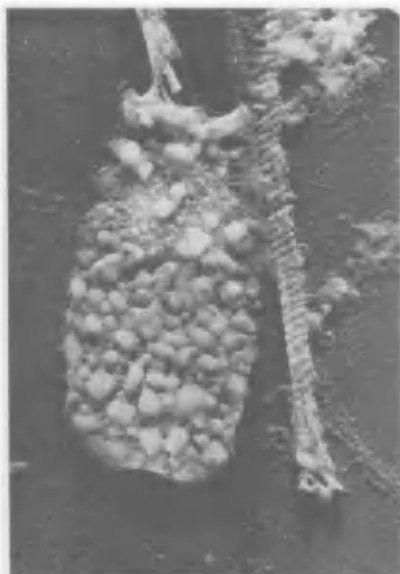
Хромосомы, поврежденные радиацией. Некоторые из них разорваны, одна свернута в кольцо



Радиационные повреждения приводят к тому, что при делении клеток хромосомы делятся не на две группы, а на три



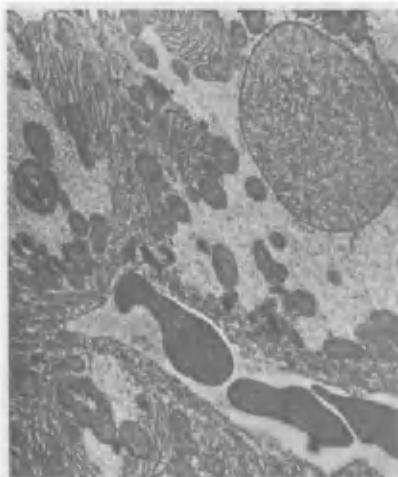
Некоторые мутации у дрозофил приводят к сморщиванию крылышек. В данном случае мутации вызвали радиационным облучением родителей



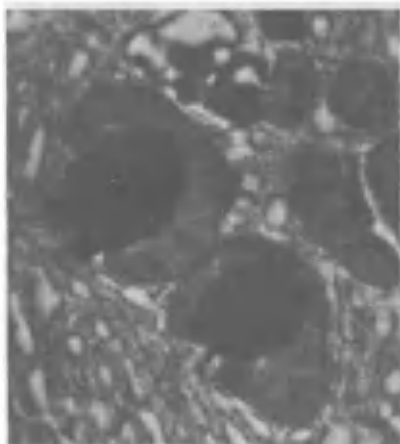
Сперматозоид быка



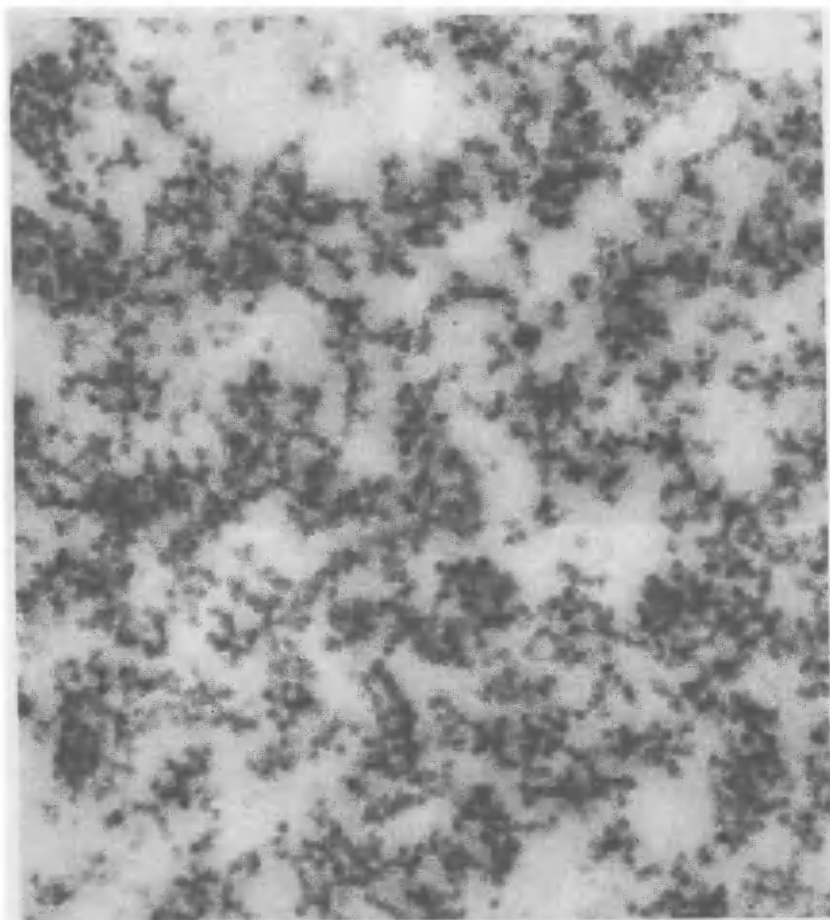
Вид клетки сердечной мышцы правого желудочка крысы под электронным микроскопом. Увеличение более чем в 10 000 раз



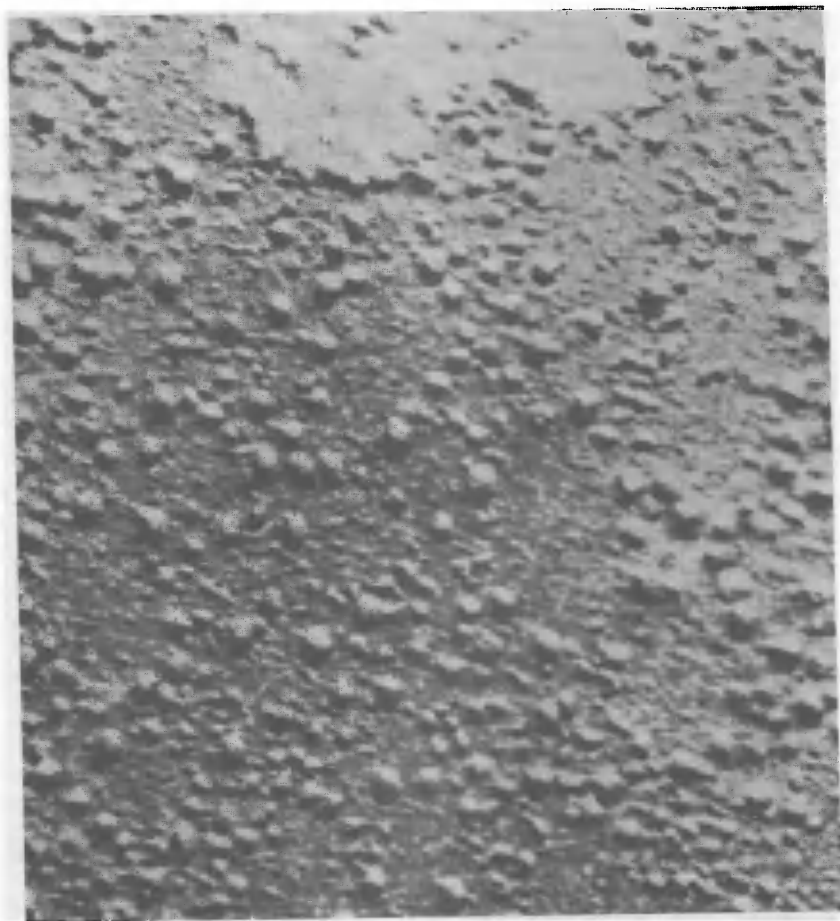
Клетка печени. Увеличение примерно в 10 000 раз



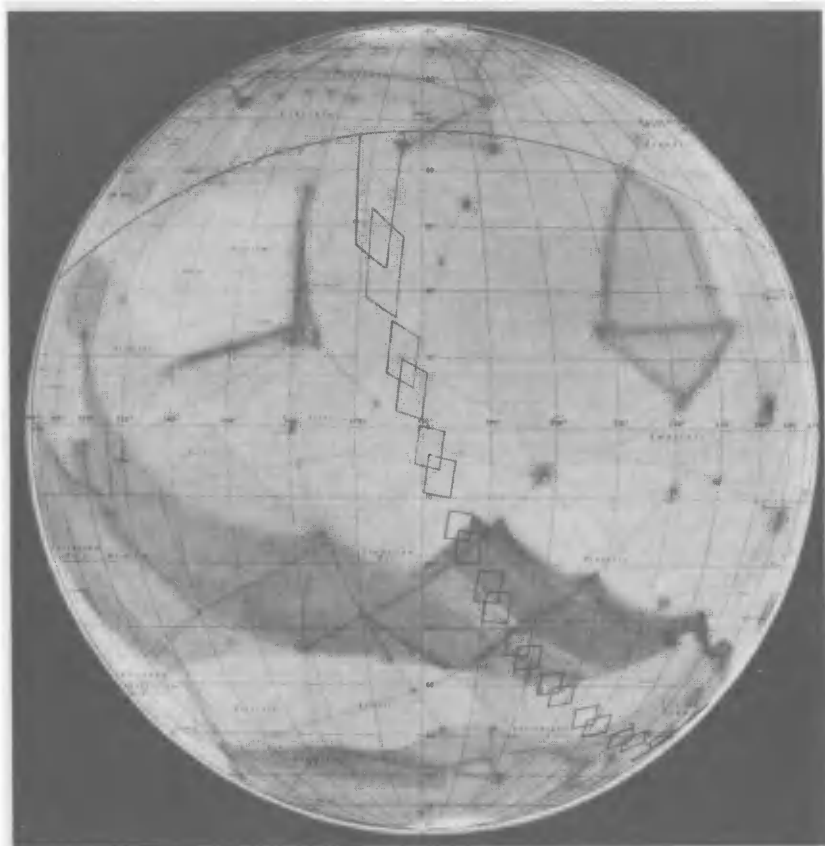
Митохондрии. В ходе реакций, которые в них протекают, образуется энергия, поэтому митохондрии иногда называют электростанциями клеток. На фотографии митохондрии видны как темные образования в центре



Рибонуклеопротеидные частицы (рибосомы), выделенные из печени морской свинки. Эти частицы являются основным местом синтеза белков в клетке



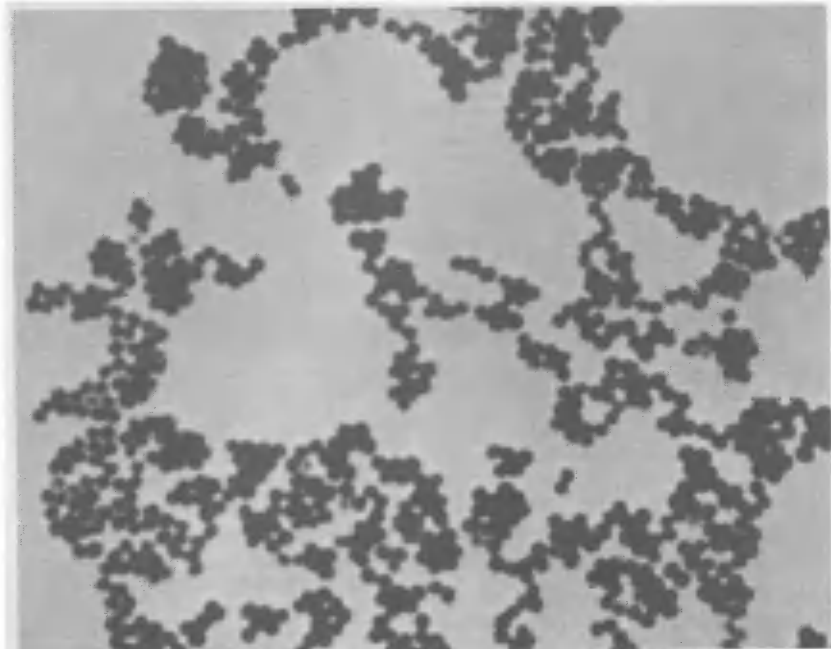
Комплекс ДНК-белок под электронным микроскопом. Сферические образования, полученные из зародышевых клеток, увеличенные в 77 500 раз, состоят из ДНК, связанной с белком



Изображение планеты Марс, полученное с помощью зонда «Мерайнер-4» в 1965 году



Луи Пастер за работой в своей лаборатории, 1885 год



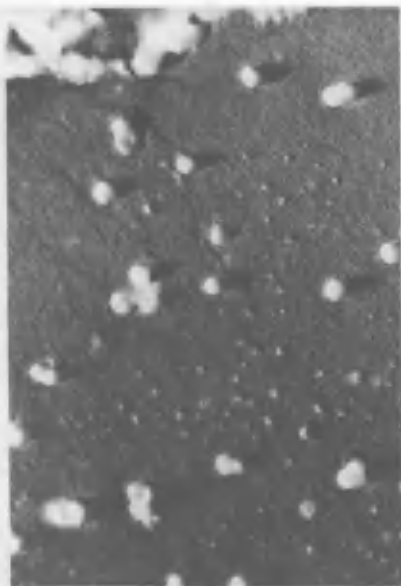
Стафилококки, увеличенные примерно в 2000 раз. По фотографии становится ясно, почему их назвали этим греческим словом, означающим «кисть винограда»



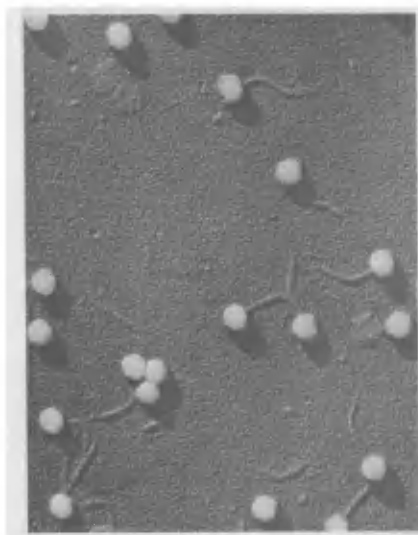
Феерия кристаллов. Так красиво выглядят пластинчатые кристаллы гемолитического токсина, выделенного из культуры *Pseudomonas pseudomallei*. Этот токсин является низкомолекулярным липидоподобным веществом, вызывающим гибель мышей. Фотография сделана в поляризованном свете под микроскопом с увеличением в 75 раз



Вирус табачной мозаики



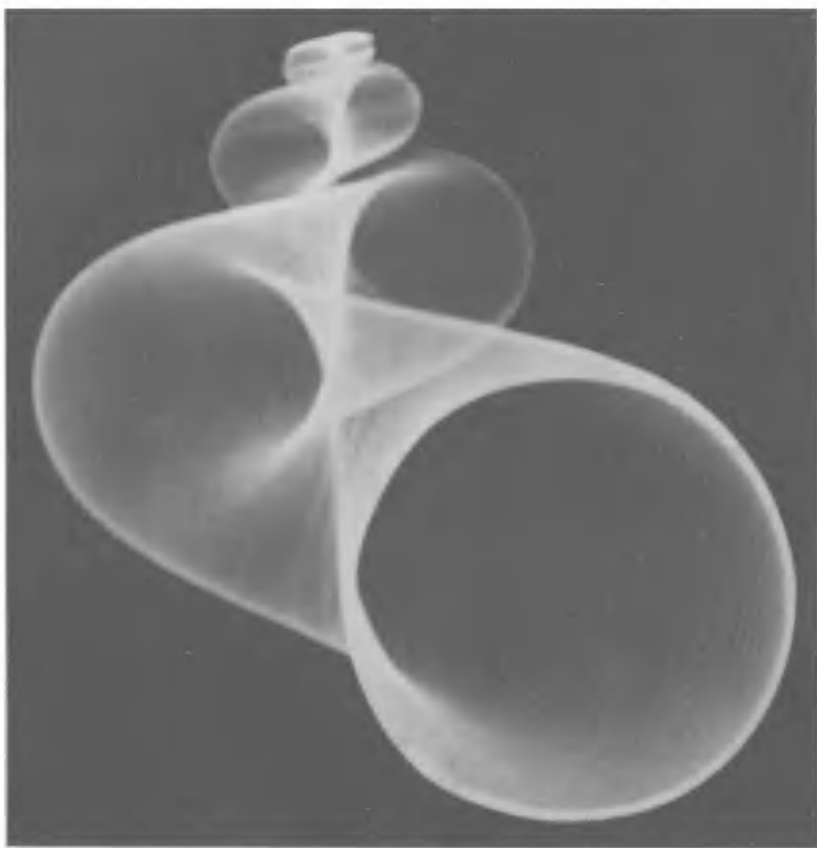
Вирус гриппа



Бактериофаги. На этой фотографии, сделанной под электронным микроскопом, хорошо видны хвостики, с помощью которых вирусы прикрепляются к бактериям



На этой микрорентгенограмме таракана можно разглядеть внутренние органы и даже мышцы насекомого



«Компьютерная улитка». На этой осциллоскопической фотографии видна спираль, которую получил компьютер, запрограммированный биологами для компьютерного воспроизведения роста раковины. Компьютеры помогают биологам в изучении морфологии, поскольку точно конструируют геометрию как существующих видов, так и тех, которых нет в природе

ОГЛАВЛЕНИЕ

Часть первая ФИЗИЧЕСКИЕ НАУКИ

*Перевод с английского Л.А. Игоревского (гл. 1—4);
В.М. Абашкина (гл. 5—9)*

<i>Глава 1. ЧТО ТАКОЕ НАУКА?</i>	7
<i>Глава 2. ВСЕЛЕННАЯ</i>	19
Размеры Вселенной	19
Рождение Вселенной	35
Гибель Солнца	45
Окна во Вселенную	57
Новые объекты	68
<i>Глава 3. ЗЕМЛЯ</i>	82
Рождение Солнечной системы	82
О форме и размерах	92
Слои планеты	101
Океан	116
Ледяные шапки	128
<i>Глава 4. АТМОСФЕРА</i>	141
Оболочки в воздухе	141
Газы в воздухе	153
Магниты	159
Метеоры	175
Происхождение воздуха	186
<i>Глава 5. ЭЛЕМЕНТЫ</i>	193
Периодическая таблица	193
Радиоактивные элементы	203
Электроны	211
Газы	226
Металлы	239
<i>Глава 6. ЧАСТИЦЫ</i>	248
Атомное ядро	248
Изотопы	252
Новые частицы	259
Ускорители частиц	268
Неизвестные частицы	276
Внутри ядра	294

Глава 7. ВОЛНЫ	298
Свет	298
Относительность	308
Тепло	320
Масса и энергия	326
Волны и частицы	330
Глава 8. МАШИНЫ	337
Огонь и пар	337
Электричество	342
Электроприборы	352
Двигатели внутреннего сгорания	358
Радио	365
Мазеры и лазеры	375
Глава 9. РЕАКТОР	382
Расщепление ядра	382
Ядерная бомба	390
Ядерная энергия	400
Радиоактивность	404
Термоядерный синтез	412

Часть вторая

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Перевод с английского С.И. Огурцова

Глава 10. МОЛЕКУЛА	416
Органическая материя	416
Тонкости молекулярной структуры	423
Органический синтез	432
Полимеры и пластики	446
Волокна	462
Каучук	466
Глава 11. БЕЛКИ	470
Главные молекулы жизни	470
Аминокислотный состав цепи	482
Ферменты	491
Метаболизм	504
Меченые атомы	511
Фотосинтез	518
Глава 12. КЛЕТКА	526
Хромосомы	526
Гены	536
Нуклеиновые кислоты	556
Происхождение жизни	573
Жизнь в других мирах	583
Глава 13. МИКРООРГАНИЗМЫ	590
Бактерии	590
Вирусы	609
Иммунитет	623
Рак	637

Глава 14. ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА	646
Пища	646
Витамины	650
Минералы	668
Гормоны	677
Старость	694
Глава 15. РАЗУМ	701
Нервная система	701
Как функционирует нерв	717
Поведение человека	728
Обратная связь	745
Думающие машины	753

Приложение

МАТЕМАТИКА В НАУКЕ

Перевод с английского В.М. Абашкина

Притяжение	768
Относительность	776

Научно-популярное издание

Айзек Азимов

ПУТЕВОДИТЕЛЬ ПО НАУКЕ

*От египетских пирамид
до космических станций*

Ответственные редакторы *Л.И. Глебовская, Ю.И. Шенгеля*

Художественный редактор *И.А. Озеров*

Технический редактор *Н.В. Травкина*

Корректор *Т.В. Вышегородцева*

Подписано к печати с готовых диапозитивов 09.02.2006
Формат 60х90^{1/16}. Бумага типографская. Гарнитура «Таймс»

Печать офсетная. Усл. печ. л. 49,5

Уч.-изд. л. 58,21 + 3 вклейки = 61,46

Доп. тираж 6000 экз. Заказ № 939

ЗАО «Центрполиграф»
125047, Москва, Оружейный пер., д. 15, стр. 1,
пом. ТАРП ЦАО

Для писем:
111024, Москва, 1-я ул. Энтузиастов, 15
E-MAIL: CNPOL@DOL.RU

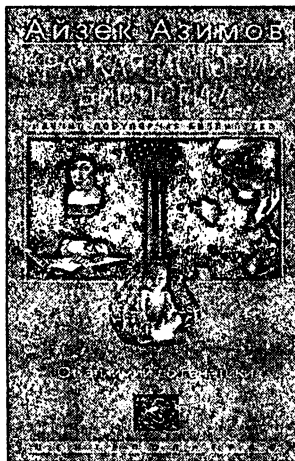
WWW.CENTRPOLIGRAF.RU

Отпечатано в полном соответствии с качеством
предоставленных диапозитивов
в ОАО «ИПК «Ульяновский Дом печати»
432980, г. Ульяновск, ул. Гончарова, 14

Айзек Азимов КРАТКАЯ ИСТОРИЯ БИОЛОГИИ

Знаменитый писатель-фантаст, ученый с мировым именем, великий популяризатор науки, автор около 500 научно-популярных, фантастических, детективных, исторических и юмористических изданий приглашает вас в увлекательное путешествие по просторам науки о живой природе, географии, истории, языкознанию.

В книге повествуется о сложном пути развития биологии со времен глубокой древности до наших дней. Вы узнаете о врачах и философах Античности, о монахах и алхимиках Средневековья, о физиках, геологах и палеонтологах века Просвещения, о современных ученых, внесших огромный вклад в науку, которая стала родоначальницей многих суперсовременных научных направлений. В книге также много интересных и остроумных историй об иллюзиях и суевериях, открытиях и феноменах, гипотезах и перспективах сложной науки биологии.



Книги А. Азимова — это оригинальное сочетание научной достоверности, яркой образности, мастерского изложения.

Также вышли в свет:

Занимательная мифология
Ближний Восток
Египтяне
Земля Ханаанская
Римская республика
Римская империя
История Англии
Расы и народы
Человеческий мозг
Кровь: река жизни
Мир измерений

В мире чисел
О времени и пространстве
Земля и космос
Царство Солнца
Занимательная арифметика
Загадки микрокосмоса
Часы, по которым мы живем
Популярная анатомия
Миры внутри миров
Темные века

Айзек АЗИМОВ

ПУТЕВОДИТЕЛЬ ПО НАУКЕ

Знаменитый писатель-фантаст, ученый с мировым именем, великий популяризатор науки, автор около 500 научно-популярных, фантастических, детективных, исторических и юмористических изданий приглашает вас в увлекательный мир науки. Его книга — путеводитель по этому миру. Вы узнаете, как был изобретен маятник и что такое цепная реакция, как люди изучали законы природы и боролись с вирусами. Автор расскажет вам, как

с помощью астрономии, физики, химии, геологии, океанографии и других наук изучают Вселенную, звездные скопления, Солнечную систему и нашу планету. На страницах книги разворачивается славная история научной мысли, предстают великие умы прошлого: Коперник, Ньютон, Кюри, Фарадей, Эйнштейн.

Книги А. Азимова — это оригинальное сочетание научной достоверности, яркой образности, мастерского изложения.

ISBN 5-9524-1191-6



ЦЕНТРОЛИГРАФ®