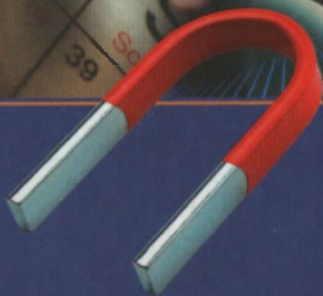


Айзек Азимов

АСИММЕТРИЯ ЖИЗНИ

НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ БИБЛИОТЕКА



От секрета научных прозрений
до проблемы перенаселения



Ц Е Н Т Р П О Л И Г Р А Ф

Айзек Азимов

АСИММЕТРИЯ
ЖИЗНИ

Isaac Asimov

THE LEFT HAND
OF THE ELECTRON

Айзек Азимов

АСИММЕТРИЯ ЖИЗНИ

От секрета научных прозрений
до проблемы перенаселения



Москва
ЦЕНТРОЛИГРАФ

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 Асимметрия жизни. От секрета научных
прозрений до проблемы перенаселения / Пер.
с англ. И.В. Фанштейн. — М.: ЗАО Центр-
полиграф, 2007. — 268 с.

ISBN 978-5-9524-3202-4

В книге много остроумных и познавательных историй из области гуманитарных и точных наук. Вы познакомитесь с научно-популярными изысканиями ученого и писателя в сфере физики, химии, геометрии, истории, литературоведения. Азимова интересуют проблемы перенаселения Земли и ограничения рождаемости. Эта книга вместила в себя все – необычные исторические совпадения, дискуссии с литературоведами, рассуждения о неевклидовой геометрии.

ББК 20

© Перевод, ЗАО
«Центрполиграф», 2007
© Художественное
оформление, ЗАО
«Центрполиграф», 2007

ISBN 978-5-9524-3202-4

АСИММЕТРИЯ ЖИЗНИ

От секрета научных прозрений
до проблемы перенаселения

ВВЕДЕНИЕ

Я с некоторым смущением признаю, что одна из глав этой книги (пятая, если необходимо уточнение) на самом деле мой 160-й очерк для *The Magazine of Fantasy and Science Fiction*. Более тринадцати лет я неизменно каждый месяц пишу по очерку для этого уважаемого периодического издания, и все эти тринадцать лет меня не покидает страх, что в один далеко не прекрасный момент я услышу ужасную фразу: «Спасибо, достаточно!!!»

Но кому достаточно? Уж точно не мне, поскольку все эти месяцы, хотя я и выпускал книги на самые разные темы — от истории до сборников анекдотов и от научной фантастики до комментариев Библии, — моим самым любимым занятием оставались ежемесячные очерки для *F & SF*.

Но не откажутся ли от меня читатели? А вдруг они устанут и прекратят тратить заработанные деньги на чтение моих рассуждений? А вдруг им надоест мое зубоскальство, изливаемое на них глава за главой, том за томом?

А что потом?

Ну, это я могу вам поведать. Если вы все от меня откажетесь, я продолжу писать свои очерки, по меньшей мере по одному в месяц. Я просто не

могу остановиться, потому что они вошли в мою плоть и кровь и помогают снимать стрессы, предотвращая возможные срывы.

Если я размышляю над мировыми проблемами, мне остается либо бодрствовать ночь напролет (ибо я и сон давно стали врагами), либо засесть за очерки «Стоп!» и «...Но как?».

Если шекспировед почесывает двумя тонкими пальцами свою аристократическую переносицу, когда плебей-любитель осмеливается посягнуть на святыню и ваяет двухтомник под названием *Asimov's Guide to Shakespeare* («Азимовский путеводитель по Шекспиру»), я, конечно, могу, как достопочтенные писатели всех времен, закатить истерику и закупить хлыстов. Или же, что свойственно именно мне, могу написать «Билл и я», отгоняя хандру и одновременно (во что я искренне верю) доказывая свою точку зрения.

Если я во время работы над одной из книг натываюсь на интересное или странное совпадение — скажем, из истории Древнего Рима, — я не пройду мимо. Я возьмусь за дело, положу эти факты в очерк «Помпей и обстоятельства» и создам один из своих самых удачных каламбуров.

(Я как-то рассказал историю о хвастуне, объявившем себя лучшим в мире серфингистом. В конце концов на прекрасном пляже с величественными волнами ему сунули в руки доску для серфинга и попросили продемонстрировать его искусство. Он подошел к линии прибоя, воткнул доску вертикально в песок и замер в неподвижности. «Давай, — кричали ему зрители, — заходи в воду!» А он кричал в ответ: «Мне это ни к чему! Серфингист может просто стоять и ждать!» В тот раз мне едва удалось спастись бегством.)

Или же я натываюсь на короткую статью в научном журнале о том, что в недавних исследовани-

ях вроде бы нащупана связь между несохранением четности и оптической активностью встречающихся в природе соединений. Вся статья насчитывает около пятисот слов.

Я сразу же загораюсь желанием объяснить это своим читателям *по-своему*. Безусловно, это означает, что сперва я должен объяснить, что такое четность (parity); как она сохраняется или не сохраняется, на что потребуется две статьи по четыре тысячи слов каждая. Затем мне придется объяснить всю эту заумь об оптической активности, на что потребуется еще две статьи. И только потом я соединю обе темы в пятой статье, и вот вам весь букет — первые пять глав этой книги.

Или кто-то из моих слушателей останавливает меня после выступления и говорит: «Почему бы вам не написать статью о неевклидовой геометрии?» Я любезно отвечаю: «Отличная идея!», а потом эта мысль меня мучает и мучает, и в конце концов я пишу не одну статью, а две: «Пятый постулат Евклида» и «Истина плоскости». И снова дышу свободно.

Но самый поразительный пример — когда я взбунтовался и сказал себе: «Силы небесные (ибо я привык к крепким выражениям, а это мое любимое), сегодня я не напишу ни строчки. Ну хотя бы один раз в жизни я поваляюсь в постели и побездельничаю и весь день буду читать».

Я так и сделал. Я взял математическую книжку, которую давно хотел спокойно почитать на досуге, опустил шторы (я ненавижу дневной свет), включил лампу, завалился в кровать и начал читать. В первой главе рассматривались простые числа. Еще не дочитав ее до конца, я начал думать... и думал... думал...

Сгорая от нетерпения, я сорвался с кровати и написал «Простые числа» (Prime Quality), и никог-

да больше мне не приходило в голову проводить целый день в постели.

Так может ли все это прекратиться только потому, что читатели больше не захотят читать мои опусы и редакторы будут вынуждены подчиниться законам рынка?

Я просто продолжу творить для себя одного и буду складывать свои труды в стопочку, а иногда перелистывать их, читать и перечитывать и наслаждаться ими в одиночестве.

— Так что же, достаточно?

Вам — может быть, но мне: «Нет! Нет!! Никогда!!!»

Часть первая

ПРОБЛЕМА ЛЕВОГО И ПРАВОГО

Глава 1

ЧЕТНЫЕ И НЕЧЕТНЫЕ

Обычно мне не составляет особого труда придумать темы для моих очерков. Мне приходит в голову какая-нибудь интересная и, как правило, перспективная мысль, и я приступаю.

Однако сегодня, решив разобраться с асимметрией (что, вполне вероятно, займет не одну главу) и закрыть вопрос жизни и антижизни, я обнаружил две отправные точки. Обычно, когда подобное случается, одна отправная точка представляется мне более перспективной и я выбираю ее без особых колебаний.

Но на этот раз надо было решать, с чего начать: с четных чисел или с двойного лучепреломления. Аргументы в пользу обеих тем яростно сталкивались в моей голове, и ни одни не могли перевесить. Два часа я сидел за письменным столом, обдумывая сначала одно начало, затем другое, и становился все несчастнее, и все с большей тревогой признавал схожесть моей ситуации с затруднениями буриданова осла.

Смею напомнить, что французский философ XIV столетия Жан Буридан предположительно сформулировал следующее: «Если голодного осла

поставить точно между двумя абсолютно одинаковыми стогами сена, он сдохнет с голоду из-за отсутствия мотивации, будучи не в силах решить, чем один стог предпочтительнее другого и почему следует направиться к одному, а не к другому».

На самом деле здесь, конечно, допущена ошибка, поскольку в этом утверждении не учитывается возможность случайного фактора. Осел — не логик, он может случайно повернуть голову и лучше разглядеть один из стогов или случайно переступить ногами так, что один из стогов станет к нему ближе, и в конце концов осел окажется у того стога, который лучше разглядел или к которому ближе подошел.

Поэтому *какой* стог выберет осел, сказать заранее невозможно. Вот если взять тысячу ослов и поставить их между тысячей пар стогов, тогда еще можно с определенной долей уверенности предположить, что примерно половина ослов повернет направо, а половина — налево. Однако выбор каждого отдельного осла останется непредсказуемым.

Точно так же невозможно в каждом отдельном случае предсказать, как упадет честно подброшенная нефальшивая монета — орлом или решкой, но мы можем с уверенностью предположить, что очень большое число монет, подброшенное одновременно (или одна монета, подброшенная очень много раз), примерно в половине случаев упадет орлом, а в другой половине — решкой.

Итак, получается, что, хотя шансы выпадения орла или решки абсолютно равны — пятьдесят на пятьдесят, — вы все же можете, учитывая случайный характер события, принять решение, когда подбрасываете монету один раз.

На этом месте я очнулся от грез и сделал то, к чему менее изощренный ум подтолкнул бы меня два часа назад. Я подбросил монету. Выбор пал в пользу четных чисел.

Я подозреваю, что какой-нибудь доисторический философ вообразил, что существует два вида чисел: миролюбивые и воинственные. Миролюбивые — 2, 4, 6, 8, а воинственные — те, что между ними.

Легко, например, поделить восемь каменных топоров между двумя индивидуумами с равными правами, вручив каждому по четыре топора и уладив дело миром. Однако, если топоров семь, пришлось бы отдать каждому по три, а один оставшийся зашвырнуть подальше (явная потеря ценного предмета) или предложить претендентам драться за этот приз.

Сами названия современных четных (even) и нечетных (odd) чисел указывают на некую правомерность подобных рассуждений.

Слово even в основе своей означает «плоский, гладкий, ровный, без углублений и возвышений». К примеру, мы пользуемся этим словом, когда говорим, что кто-то что-то сказал «ровным голосом». Четное число одинаковых монет можно разделить на две кучки совершенно одинаковой высоты. Обе кучки равны по высоте, и потому их число называют ровным. Четное число — это число, обладающее свойством «поровну делиться».

Слово odd происходит от древнескандинавского слова, означающего «точка» или «конец». Если odd (нечетное) количество монет разделить на две кучки как можно ровнее, одна кучка окажется выше на одну монету и, следовательно, будет возвышаться над другой. Нечетное число обладает свойством «неравного деления», и не случайно выражение odds в пари подразумевает неравные денежные ставки обоих участников.

Поскольку четные (even) числа обладают свойством равных частей, они, как говорят, равноправны, от латинского слова, означающего «равный».

Первоначально это слово (как следует из логики) применялось только к четным числам, но математики обнаружили, что если два числа или оба четные, или оба нечетные, то удобно в каждом случае считать их «относящимися к одному и тому же виду». А если сгруппировать четное и нечетное число, то они будут «относиться к разным видам».

Чтобы признать удобство этого соглашения, порассуждаем.

При сложении двух четных чисел сумма неизменно получается четной. (Это можно выразить математически: представить два четных числа, как $2m$ и $2n$, где m и n — целые числа, и тогда сумма $2m+2n$ со всей очевидностью делится на два. Однако я уверен, что мы сможем обойтись без математических доказательств и вы охотно поверите мне на слово. А при желании приглашаю вас поискать два четных числа, сумма которых четной не будет.)

При сложении двух нечетных чисел сумма также неизменно получается четной.

Однако при сложении четного и нечетного чисел сумма неизменно будет нечетной.

Более кратко мы можем выразить это символами, обозначив четные числа буквой E, а нечетные — буквой O:

$$E + E = E$$

$$O + O = E$$

$$E + O = O$$

$$O + E = O$$

Или, если мы имеем дело только с парами чисел, наша концепция позволяет нам выразить это не четырьмя утверждениями, а всего двумя:

1) При сложении двух чисел одного вида сумма будет четной.

2) При сложении двух чисел разного вида сумма будет нечетной.

Очень похоже обстоят дела и при умножении, если мы разделим числа на два вида: положительные числа (+) и отрицательные числа (-). Произведение двух положительных чисел неизменно положительное. Произведение положительного и отрицательного числа неизменно отрицательное.

Используя символы:

$$+ \times + = +$$

$$- \times - = +$$

$$+ \times - = -$$

$$- \times + = -$$

Или, если мы отнесем все положительные числа к одному виду, а все отрицательные числа — к другому, то, в связи с перемножением двух чисел, можно сказать:

1) Числа одного вида при перемножении дают положительное число.

2) Числа разного вида при перемножении дают отрицательное число.

Концепцию четности — то есть отнесение всех объектов определенного вида к одному из двух подвидов и последующее нахождение двух противостоящих результатов при манипуляции с объектами одного и того же или разных подвидов — можно применить к физическим явлениям.

Например, все электрически заряженные частицы можно разделить на два вида: положительно заряженные и отрицательно заряженные. Опять же все магниты имеют две точки, где концентрируется магнетизм противоположных свойств — северный полюс и южный полюс. Обозначим их: -, +; N и S.

Тогда оказывается, что:

+ и +, или N и N = отталкивание

— и —, или S и S = отталкивание

+ и —, или N и S = притяжение

— и +, или S и N = притяжение.

И снова мы можем сформулировать два утверждения:

1) Одинаковые электрические заряды или магнитные полюса отталкиваются.

2) Противоположные электрические заряды или магнитные полюса притягиваются.

Формальное сходство со сложением четных и нечетных чисел или с перемножением положительных и отрицательных чисел очевидно.

Когда в любой ситуации манипуляции с объектами одного и того же вида всегда дают один результат, а различного вида — другой, мы говорим, что «четность сохраняется». Если бы два четных числа при сложении дали нечетное; или положительное число, умноженное на отрицательное, дало бы положительный результат; или два положительно заряженных объекта притянулись бы друг к другу; или если бы северный магнитный полюс оттолкнулся южным магнитным полюсом, мы бы сказали, что «закон сохранения четности нарушен».

Конечно, в связи с числами и электромагнитными явлениями никто никогда не наблюдал нарушения закона сохранения четности и всерьез не ожидает обнаружить нарушение этого закона в будущем.

А как насчет других случаев?

Электромагнетизм связан с полем. То есть любая электрически заряженная частица или любой магнит окружены пространством, внутри которого они действуют на другие объекты того же вида. Другие объекты также окружены пространством, в

котором их свойства проявляются в действии на первоначальный объект. Таким образом, существует «электромагнитное взаимодействие» между парами объектов, обладающих электрическим зарядом или магнитными полюсами.

В начале XX века кроме этого взаимодействия было известно только гравитационное.

На первый взгляд нелегко обнаружить связь гравитации с концепцией четности. Невозможно разделить объекты на две группы: одну с гравитационными свойствами и вторую ей противоположную.

Все объекты данной массы обладают одной и той же интенсивностью гравитационного взаимодействия одного и того же сорта. Любые два объекта, обладающие массой, притягиваются друг к другу. «Гравитационного отталкивания» не существует (и согласно общей теории относительности Эйнштейна, существовать *не может*). То есть, когда речь идет о гравитации, мы можем лишь сказать, что $E + E = E$ или $+ \times + = +$.

Конечно, остается шанс, что в области субатомной (элементарной) физики встречаются некие объекты, имеющие массу и обладающие обычными гравитационными свойствами, и другие объекты, имеющие массу и обладающие гравитационными свойствами противоположного сорта («антигравитация»). В этом случае может получиться так, что два антигравитационных объекта будут притягиваться друг к другу точно так же, как два гравитационных объекта; однако антигравитационный и гравитационный объекты будут отталкиваться. Ситуация с гравитационным взаимодействием была бы противоположной электромагнитному взаимодействию (гравитационные объекты одного вида притягивались бы, а разных видов — отталкивались бы), но даже при допущении подобной перестановки четность (parity) все равно сохранилась бы.

Однако сложность в том, что гравитационное взаимодействие настолько слабее электромагнитного, что гравитационные взаимодействия субатомных частиц пока невозможно измерить и тем более отличить столь незначительное притяжение от столь незначительного отталкивания. Так что вопрос четности (parity) и гравитационного поля остается неопределенным.

По мере развития науки в XX веке пришлось признать, что гравитационные и электромагнитные взаимодействия — не единственные в природе. Субатомные частицы предполагают существование и других взаимодействий. Конечно, электроны имеют отрицательные заряды, а позитроны — положительные и, следовательно, ведут себя в соответствии с правилами электромагнитного взаимодействия. Однако в субатомном мире происходят события, не имеющие ничего общего с электромагнетизмом. Например, некое взаимодействие частиц, как имеющих, так и не имеющих электрический заряд, проявляющееся лишь на сверхмалых расстояниях внутри атомного ядра.

Подходит ли наша концепция четности (parity) к «ядерному взаимодействию»?

Каждая субатомная (элементарная) частица имеет определенное квантово-механическое свойство, которое можно выразить в форме, включающей три величины — x , y , z . В некоторых случаях возможно изменить знак всех трех величин с положительного на отрицательный, не меняя знака выражения в целом. Говорят, что частицы, для которых это справедливо, «четные». В других случаях изменение знака трех величин *меняет* знак всего выражения, и говорят, что частица, для которой это справедливо, «нечетная».

Почему четные и нечетные? Частица четного вида может разделиться на две частицы четного вида или на две частицы нечетного вида, но никогда — на одну четную и одну нечетную. Это аналогично тому, как четное число может быть суммой двух четных чисел или двух нечетных чисел, но никогда суммой четного и нечетного числа, в то время как нечетное число может быть суммой четного и нечетного числа, но никогда — суммой двух четных или двух нечетных чисел.

Но затем была обнаружена частица, получившая название «К-мезон». Она оказалась нестабильной и быстро распалась на пи-мезоны. Некоторые К-мезоны при распаде испускали два пи-мезона, а некоторые — три пи-мезона, что вызвало волнение в научных кругах, ибо первое противоречило второму. Четное число может быть суммой двух нечетных чисел ($10 = 3 + 7$), а нечетное число — суммой трех нечетных чисел ($11 = 3 + 7 + 1$), но ни одно число не может быть суммой двух нечетных чисел в одной ситуации и суммой трех нечетных чисел — в другой. Это все равно что предполагать, будто одно и то же число может быть одновременно и четным, и нечетным. Короче говоря, это было бы нарушением закона сохранения четности.

Тогда физики предположили, что должно быть два сорта К-мезона; четная (even-parity) разновидность (theta-мезон), распадающаяся на два пи-мезона, и нечетная (odd-parity) разновидность (tau-мезон), распадающаяся на три пи-мезона.

Это решение не было абсолютно удовлетворительным, поскольку казалось совершенно невозможным отличить theta-мезон от tau-мезона, *кроме как* по числу пи-мезонов, на которые они распадались. Найти разницу в подвидах для двух частиц, идентичных во всех остальных отношениях, представлялось нереальным.

К 1956 году несколько физиков задались вопросом, а не может ли закон сохранения четности в некоторых случаях нарушаться. Если бы это было так, то, может быть, отпала бы необходимость искать различия между θ -мезоном и τ -мезоном.

Эта гипотеза заинтересовала двух молодых американских физиков китайского происхождения из Колумбийского университета: Чжень Нин Янга и Цзун Дао Ли, которые приняли во внимание следующее.

На самом деле существует не одно ядерное взаимодействие, а два. Одно — то, что удерживает протоны и нейтроны в ядре — очень сильное, примерно в 130 раз сильнее электромагнитного взаимодействия — так называемое сильное ядерное взаимодействие.

Второе — слабое ядерное взаимодействие, примерно в сто триллионов раз слабее сильного ядерного взаимодействия (но все же в триллионы раз сильнее невообразимо слабого гравитационного взаимодействия).

То есть во Вселенной существует четыре типа взаимодействий (и есть теоретическая предпосылка, позволяющая оспорить невозможность существования пятого, но я бы не хотел в это вникать): 1) сильное ядерное, 2) электромагнитное, 3) слабое ядерное и 4) гравитационное.

Мы можем забыть о гравитационном взаимодействии по причинам, упомянутым мною выше. Из других трех, как было доказано к 1956 году, четность (*parity*) сохраняется в сильном ядерном взаимодействии и в электромагнитном взаимодействии. Благодаря многочисленным примерам такого сохранения вопрос считался улаженным.

Однако никто никогда систематично не проверял слабое ядерное взаимодействие на четность (parity), а распад К-мезона включал слабое ядерное взаимодействие. Конечно, все физики допускали, что в слабом ядерном взаимодействии четность сохраняется, но это было лишь допущение.

Янг и Ли опубликовали статью, в которой обратили на это внимание, и предложили эксперименты, позволяющие проверить, действительно ли закон сохранения четности работает в слабых ядерных взаимодействиях. Эти эксперименты были проведены, и подозрения Янга и Ли о нарушении закона сохранения четности оказались верными. Молодых ученых — Янгу было тридцать пять лет, а Ли — тридцать один — почти сразу же — в 1957 году — наградили Нобелевской премией по физике.

Вы, конечно, можете спросить, почему это четность (parity) должна сохраняться в одних взаимодействиях и не сохраняться в других, и ответ: «Потому что так устроена Вселенная» — вас не удовлетворит.

Действительно, сосредоточившись на тех случаях, где четность *сохраняется*, вы можете решить, что невозможна, недопустима и немыслима ситуация, в которой она *не сохраняется*. И тогда, если где-то закон сохранения четности нарушается, может возникнуть впечатление, что грядет революция, которая разрушит все здание науки.

Ничего подобного.

Четность — не такая уж важная характеристика всего сущего, чтобы сохраняться везде, всегда и при всех условиях. Почему бы не сложиться ситуации, в которой четность не сохраняется или, как в случае гравитационного взаимодействия, это понятие вообще неприменимо?

Важно также понять, что обнаружение факта не сохранения четности в слабых ядерных взаимодействиях не «опровергает» закон сохранения четности, хотя именно так освещался этот вопрос в печати и даже в выступлениях самих ученых. Закон сохранения четности в тех случаях, когда его верность была доказана экспериментом, *остался* и вполне работоспособен до сих пор.

И только в области слабых ядерных взаимодействий, где верность закона сохранения четности *оставалась неподтвержденной* до 1956 года и где его применимость лишь *допускалась*, наступили перемены. Окончательный эксперимент просто доказал, что физики сделали допущение, на которое в общем-то не имели права, и закон сохранения четности был «опровергнут» лишь там, где никогда и не должен был применяться.

Было бы неплохо взглянуть на что-то знакомое, на повседневную ситуацию, в которой закон сохранения четности работает, а затем на другую, где этот закон лишь допускается по аналогии, но в действительности не работает. Тогда мы поняли бы, что случилось в физике и почему ниспровержение того, чего и не было, *улучшает* структуру науки и не вредит ей.

Людей можно разделить на два вида: мужчин (М) и женщин (Ж). Ни двое мужчин сами по себе, ни две женщины сами по себе не могут иметь детей (нет Д). Однако женщина и мужчина могут иметь детей (Д). Следовательно, мы можем записать:

М и М = нет Д

Ж и Ж = нет Д

М и Ж = Д

Ж и М = Д

Таким образом мы получаем знакомую ситуацию:

- 1) Особи одного пола не могут иметь детей.
- 2) Особи разных полов могут иметь детей.

Естественно, существуют и неполовозрелые индивидуумы, бесплодные женщины, импотенты и стерильные мужчины и так далее, но это детали, не влияющие на ситуацию. Что касается полов и детей, мы можем сказать, что человеческие особи (как и многие другие) четность сохраняют.

Поскольку в отношении деторождения закон сохранения четности работает, легко *допустить* сохранение четности и в любви, и в привязанности и предположить, что сексуальная любовь должна возникать лишь между мужчиной и женщиной. Однако это *не так*, поскольку существует и всегда существовала мужская и женская гомосексуальность. Допущение того, что закон сохранения четности *должен* работать там, где на самом деле не работает, заставляет многих людей считать гомосексуальность аморальной, порочной, отвратительной и приносит человечеству много горя и страданий.

Следует отметить, что в иудейской и христианской культурах институт брака тесно связан с деторождением и таким образом именно закон сохранения четности работает на деторождение. Брак возможен только между одним мужчиной и одной женщиной, потому что в идеале это самая простая система, способствующая деторождению.

Однако в наше время этот закон, строго сохраняющийся в отношении деторождения, не так строг в отношении сексуальных связей. Все чаще к гомосексуальности относятся не как к греху или преступлению, а как не более чем к несчастью, а то и вовсе не замечают.

В обществе медленно развивается и другая тенденция: мол, нет никакой необходимости втиски-

вать институт брака в жесткие рамки сохранения четности. Все чаще мы слышим о гомосексуальных и групповых браках. (Древний институт полигамии — один из примеров такого рода брака, практиковавшийся многими почтенными мужчинами ветхозаветных времен; в таких браках закон сохранения полового вида — четности — не работал.)

В следующей главе мы поговорим о природе эксперимента, подтвердившего несохранение четности в слабом ядерном взаимодействии и его последствиях.

Глава 2 ЛЕВЫЙ ВИНТ ЭЛЕКТРОНА

Вчера я получил письмо с критикой моего литературного стиля. Главный упрек: «Вы избегаете романтики до такой степени, что, когда вам в голову приходит загадочная, яркая, острая фраза, то, держу пари, вы умышленно отказываетесь от нее и выбираете более ясную, но более прозаическую».

Я могу лишь ответить: вы абсолютно правы.

Это прекрасно знают все, кто читает мои сборники научных очерков. Я не признаю мистические взгляды на Вселенную ни во имя науки, ни во имя философии, ни во имя религии.

Смею сказать, что вполне возможно вызвать эмоциональную реакцию с помощью «загадочной, яркой, острой» фразы, но покажите мне загадочную фразу, и я предъявлю вам любое количество читателей, которые, не понимая ее смысла, но боясь показаться невежественными, скажут: «Боже, как это романтично и эмоционально».

Может, так, а может, и нет. Однако огромное количество некомпетентных литераторов безнаказанно пользуются интеллектуальной неуверенностью своих читателей, и огромное количество литературных поденщиков пишут огромное количество плохих произведений, зарабатывая себе на жизнь.

Лично мне удается сохранять определенную интеллектуальную уверенность. Когда я читаю книгу, предназначенную (предположительно) для широкой публики, и обнаруживаю, что ничего в ней не понимаю, мне никогда не приходит в голову винить себя в недостатке интеллекта. Наоборот, я спокойно и аргументированно прихожу к мнению, что автор либо плохой писатель, либо у него в голове путаница, либо одновременно и то и другое.

Неудивительно, что с такими взглядами я «выбираю более ясный, но более прозаический» литературный стиль.

Моя главная задача и моя *страсть* (даже в моих научных писаниях) — объяснить. Отчасти мое желание заставить моих читателей увидеть и понять Вселенную так, как ее вижу и понимаю я, чтобы они наслаждались ею, как я, объясняется миссионерским инстинктом. Отчасти я пишу потому, что пытаюсь изложить свои мысли на бумаге как можно яснее, чтобы читатель все понял, я и сам достигаю большего понимания.

Я пытаюсь учить других, потому что — независимо от результатов — неизменно достигаю успехов в самообучении.

Все же я должен признать, что эта добровольно возложенная на себя задача кажется мне временами весьма трудной. И разъяснение четности и связанных с нею вопросов, начатое в главе 1, — как раз такой момент, но ведь никто и не обещал мне райских куш, так что продолжим...

Законы сохранения — фундаментальные обобщения физики и физических аспектов всех других наук. Обычно законы сохранения говорят, что некое тщательно измеренное свойство замкнутой системы (такой, которая не взаимодействует ни с одной другой частью Вселенной) остается постоянным независимо от любых изменений, происходящих внутри данной системы. Например, полное количество энергии в замкнутой системе всегда постоянно, несмотря на изменения внутри системы — это называется «законом сохранения энергии».

Закон сохранения энергии очень удобен физикам и, вероятно, является самым важным законом сохранения, а следовательно, самым важным законом любого рода в любой отрасли науки. Однако, пожалуй, он не является абсолютно необходимым.

Почему энергия должна сохраняться? Почему энергия в замкнутой системе не может иногда увеличиваться или уменьшаться?

На самом деле нам не придумать какой-либо причины, если думать только об энергии. Нам просто приходится принимать этот закон, как соответствующий наблюдениям.

Однако законы сохранения кажутся связанными с симметриями во Вселенной. Например, можно показать, что если допустить симметрию времени, то следует ожидать сохранения энергии. Симметричность времени означает, что любая его порция похожа на любую другую и таким образом законы природы проявляют «инвариантность во времени» и всегда одни и те же.

Человечество навскидку всегда соглашалось с этим утверждением — для замкнутых систем. Если при определенной последовательности действий сегодня разжигается огонь, плавится медная руда или выпекается хлеб, то при похожих условиях та

же процедура должна дать те же результаты и завтра, и на следующий год. Если нет, то следует предположить, что система перестала быть замкнутой. Возможно, появились внешние воздействия в виде (как сказали бы мистики) злой ведьмы или коварного призрака или в виде (как сказали бы рационалисты) неожиданного повышения влажности дров, увеличения примесей в руде или охлаждения печи.

Если мы стараемся избежать сложностей, рассматривая простейшие формы материи — субатомные (элементарные) частицы, движущиеся под действием различных полей, создаваемых ими самими или их соседями, — мы с готовностью допускаем, что они подчиняются одним и тем же законам в любой момент времени. Если бы какая-нибудь машина времени перенесла систему элементарных частиц на столетие или на миллион лет назад или на миллион лет вперед, невозможно было бы обнаружить временные изменения, изучая *только* поведение элементарных частиц. А если это справедливо, то справедлив и закон сохранения энергии.

Конечно, инвариантность времени — всего лишь такое же допущение, как и сохранение энергии, а допущения могут не согласовываться с наблюдениями. Так, некоторые физики-теоретики предположили, что гравитационное взаимодействие может очень медленно ослабевать с течением времени. В таком случае можно было бы обнаружить резкое изменение времени, отметив (в теории) резкое изменение силы гравитационного поля, создаваемого изучаемыми частицами. Такое изменение гравитационной интенсивности на самом деле еще не проявлялось, но, если бы оно существовало, закон сохранения энергии был бы не совсем справедливым.

Отбросив эту возможность, мы остаемся с двумя эквивалентными предположениями: 1) в замк-

нутой системе энергия остается постоянной и 2) законы природы инвариантны во времени.

Или оба эти утверждения верны, или оба неверны, но интуиция мне подсказывает, что именно второе утверждение нам более необходимо. Вряд ли стоило бы тревожиться из-за небольшого количества создаваемой или уничтожаемой иногда энергии, но нам было бы очень неудобно жить во Вселенной, в которой день ото дня меняются законы природы.

Перейдем к закону сохранения количества движения (импульса). Полное количество движения системы (произведение массы на скорость) в замкнутой системе остается постоянным при любых изменениях внутри системы. Именно сохранение количества движения обеспечивает математическую точность игры мастеров бильярда. (При вращательном движении вокруг некоторой точки или линии работает и независимый закон сохранения момента количества движения.)

Оба закона сохранения — количества движения и момента количества движения — опираются на тот факт, что законы природы инвариантны в пространстве. Другими словами, если бы группа элементарных частиц мгновенно переместилась отсюда в окрестности Марса или в далекую галактику, то сделать вывод о подобном перемещении *только* из наблюдения за элементарными частицами было бы невозможно. (На самом деле, скорее всего, изменилась бы интенсивность гравитационного взаимодействия из-за различия в массах соседних тел, но мы рассматриваем идеальную ситуацию, когда поля создаются только частицами замкнутой системы, а потому внешнюю гравитацию игнорируем.)

И опять же, необходимость инвариантности в пространстве воспринимается легче, чем необходимость сохранения количества движения или момента количества движения.

Большинство других законов сохранения также включают инвариантности подобного рода, но ничего, что могло бы привести к таким легким интуитивным концепциям, как симметрия пространства и времени. Четность — исключение.

В 1927 году венгерский физик Р. Вигнер установил, что сохранение четности эквивалентно право-левой (зеркальной?) симметрии.

Это означает, что для сохранения четности не должно быть причин для предпочтения правого левому (или наоборот) при рассмотрении законов природы. Если один бильярдный шар ударяет другой справа от центра и отскакивает вправо, то он точно так же отскочит влево, если ударит другой шар слева от центра.

Если отскочивший вправо шар рассматривать в зеркало, установленное параллельно первоначальной линии движения, то покажется, что он отскочил влево. Если бы вам показали диаграммы движения реального шара и движения его зеркального отражения, то только по диаграммам вы не смогли бы отличить реальный шар от его отражения. Оба в точности подчинялись бы законам природы.

Если бильярдный шар представляет собой идеальную сферу и не имеет никаких пометок, то он проявит лево-правую (зеркальную?) симметрию. То есть его отражение будет такой же идеальной и ничем не помеченной сферой, и, если вам покажут фотографии самого шара и его зеркального отражения, вы не сможете их различить только по внешнему виду. Безусловно, если бы на бильярд-

ном шаре были какие-то несимметричные пометки, например цифра 7, вы смогли бы сказать, где реальный шар, а где его отражение, поскольку на фотографии цифра 7 отразилась бы «задом наперед».

Эксперименты с зеркальными отражениями весьма неточные, ибо сами мы асимметричны. Не только определенные внутренние органы (печень, желудок, селезенка и поджелудочная железа) смещены в ту или другую сторону от средней линии тела, но и некоторые вполне видимые внешние признаки (прическа, например, или отметины на коже). Это означает, что мы можем легко отличить фотографию отражения от себя, реального (или другого знакомого индивидуума), заметив, что, например, пробор в прическе «не с той стороны».

Создается иллюзия, будто легко отличить левое от правого, когда на самом деле это не так. Предположим, что вам необходимо определить левую и правую сторону для кого-то, кто не может использовать для сравнения человеческое тело, для марсианина, к примеру, который не может вас видеть. Вы могли бы использовать для ориентира саму Землю, если бы марсианин смог различить ее поверхность, ибо очертания континентов асимметричны, ну а если вы общаетесь с кем-то, кто находится где-то в окрестностях альфы Центавра?

Ситуация упрощается, когда мы изучаем элементарные частицы и допускаем (игнорируя прямо противоположную информацию), что они имеют лево-правую (зеркальную?) симметрию, как абсолютно сферические непомятые бильярдные шары. В этом случае вы не сможете отличить фотографию частицы от фотографии ее отражения по одному лишь внешнему виду.

Если бы частица каким-то образом предпочла левую сторону, тогда зеркальное отражение сдела-

ло бы то же самое вправо от нас. Если же движения влево и вправо равновероятны по законам природы, вы все равно не сможете отличить частицу от ее зеркального отражения. Именно такое положение превалирует, когда срабатывает закон сохранения четности.

Но что, если при некоторых условиях закон сохранения четности нарушается? Тогда в тех условиях частица либо асимметрична, либо действует асимметрично, то есть делает слева то, чего не может сделать справа, или наоборот. Тогда вы можете сказать: «Это частица, а это ее отражение. Я могу различить их, поскольку отражение перевернуто (или потому что отражение делает что-то невозможное)».

Это эквивалентно тому, как вы отличаете вашего друга от его отражения, потому что у него пробор не с той стороны или он ловко пишет левой рукой, когда вы точно знаете, что он правша.

Предположение Ли и Янга (см. главу 1) о нарушении закона сохранения четности в слабых ядерных взаимодействиях привело к необходимости отличать проявление слабого ядерного взаимодействия от его зеркального отражения. А обычное слабое ядерное взаимодействие — это испускание электрона атомным ядром.

Атомное ядро можно представить как вращающуюся частицу, симметричную в восточном, западном, северном и южном направлениях (точно так же, как Земля). Если взять зеркальное отражение частицы («отражение-частица»), кажется, что она вращается «не в ту сторону», но уверены ли вы в этом? Если перевернуть отражение-частицу вверх тормашками, тогда она закрутится «в ту сторону» и будет выглядеть точно так, как сама частица. Вы не

можете отличить частицу от отражения-частицы по направлению ее вращения, поскольку не можете определить, где у той и другой верх, а где низ. Что касается вращения, перевернутая вверх тормашками отражение-частица выглядит точно так же, как нормально расположенная частица.

Конечно, у вращающейся частицы есть два полюса — северный и южный, и, по всей видимости, мы можем сказать, где какой находится. Поместив частицу в сильное магнитное поле, мы можем сравнить направление осей вращения с осью вращения Земли и идентифицировать северный и южный полюса. Таким образом мы сможем определить, нормально расположена частица или вверх тормашками.

Да, но здесь мы для сравнения использовали Землю, а Земля асимметрична из-за своего положения и очертаний континентов. Если бы мы не использовали для сравнения Землю (а мы и не должны были, поскольку пытались определить поведение элементарных частиц в глубоком космосе вдали от Земли), то никак не смогли бы отличить северный полюс от южного. Ни вращение, ни полюса не помогли бы нам различить симметричную частицу и ее зеркальное отражение.

Однако предположим, что частица испускает электрон. Такой электрон, скорее всего, вылетит из одного из полюсов, но из какого? Предположим, что он может вылететь из любого полюса с равной вероятностью. В таком случае, если бы мы имели дело с триллионом ядер, испускающим триллион электронов, половина вылетела бы из одного полюса, а половина — из другого. Мы не смогли бы различить полюса и все еще не смогли бы отличить частицу от ее отражения-частицы.

С другой стороны, если бы электроны имели тенденцию вылетать из одного полюса чаще, чем из другого, мы получили бы отличительный признак

одного из полюсов. Мы сказали бы: «Если смотреть на частицу с точки над полюсом, испускающим электроны, она вращается против часовой стрелки. Это означает, что другая частица является на самом деле отражением-частицей, потому что, если смотреть на нее таким же образом, то она вращается по часовой стрелке».

И это должно было бы соответствовать истине, если бы закон сохранения четности не выполнялся в случае испускания электрона ядром.

Но соответствует ли? Когда атомные ядра (триллионы ядер) испускают электроны, эти электроны летят равномерно во все стороны — но только потому, что полюса ядер направлены во все стороны и электроны должны были бы лететь во все стороны независимо от того, испускаются ли они из одного полюса или из обоих полюсов поровну.

Чтобы проверить, испускаются ли электроны из обоих полюсов или только из одного полюса, ядра следует выстроить так, чтобы все северные полюса были направлены в одну сторону. Для этого потребуется мощное магнитное поле и температура, близкая к абсолютному нулю, чтобы энергия вибрации не нарушала строй.

После того как Ли и Янг выдвинули свое предположение, мадам Цзянь Шюн Ву, их коллега, профессор Колумбийского университета, выполнила точно этот эксперимент. Ядро кобальта-60, надлежащим образом сориентированное, испускало электроны из южного, а не северного полюса.

Таким образом было доказано, что закон сохранения четности несправедлив для слабых ядерных взаимодействий. Это означало, что в подобных случаях можно отличать левое от правого, и электрон, вовлеченный в слабые ядерные взаимодействия, предпочитает левую сторону правой, так что его можно назвать «левшой».

У электрона, несущего единицу отрицательного заряда, есть «отражение» и другого рода. Существует частица, абсолютная копия электрона, но несущая единицу положительного заряда — позитрон.

На самом деле у каждой заряженной частицы есть двойник с противоположным зарядом — античастица. Существует математическая операция, которая превращает формулу, описывающую частицу, в формулу, описывающую эквивалентную ей античастицу (или наоборот). Эта операция называется «зарядовое сопряжение».

Получается, что у каждой левовинтовой частицы есть правовинтовая античастица, и наоборот.

Заметим, что, если электрон делает что-то влево, его зеркальным отражением, вероятно, должен быть электрон, делающий это вправо, что невозможно — и, зная это, можно отличить отражение от частицы.

С другой стороны, проведя операцию зарядового сопряжения, вы превратили бы левовинтовой электрон в левовинтовой позитрон. Последнее также невозможно и тоже позволит отличить отражение от частицы.

Значит, в слабых ядерных взаимодействиях нарушается не только закон сохранения четности, но и закон сохранения зарядового сопряжения¹.

Предположим, что вы не только изменили правое-левое электрона, представив его зеркальное отражение, но также вообразили, будто одновременно изменили заряд с отрицательного на положительный. Вы осуществили и изменение четности, и изменение зарядового сопряжения. Результат

¹ Однако оба закона сохранения работают в этих взаимодействиях. В сильных ядерных взаимодействиях не только всегда равно естественны левое и правое, но и все, что может делать заряженная частица, может делать и ее противоположно заряженная античастица.

этого двойного изменения — превращение левовинтового электрона в правовинтовой позитрон. Поскольку возможно существование и левовинтовых электронов, и правовинтовых позитронов, вы не можете, просто глядя на диаграммы, понять, где оригинальная частица, а где ее отражение.

Другими словами, хотя ни четность, ни зарядовое сопряжение не сохраняются в слабых ядерных взаимодействиях, сочетание обоих *сохраняется*. Используя аббревиатуры, сформулируем: хотя в слабых ядерных взаимодействиях ни P, ни C не сохраняется, CP сохраняется.

Вероятно, вам непонятно, как это два объекта по отдельности не сохраняются, но сохраняются вместе. Или (что то же самое) почему два объекта, по отдельности легко отличимые от своего зеркального отражения, невозможно различить, когда они вместе.

Ну, тогда рассмотрим...

Буква *b* отражается в зеркале как *d*. Буква *d* отражается в зеркале как *b*. Таким образом и *b*, и *d* легко отличить от их зеркальных отражений.

Однако отражение комбинации *bd* — тоже *bd*. И *b*, и *d* отражаются по отдельности, и также отражается порядок, в котором они отражаются. И хотя изменился каждый отдельный образ, комбинация *bd* при отражении не изменилась.

(Проделайте этот эксперимент сами с печатными буквами.)

Давайте уточним еще кое-что о левостороннем отражении. Предположим, что Солнечная система отразилась в зеркале. Наблюдая за ее отражением, мы увидели бы, что все планеты вращаются вокруг Солнца «не в ту сторону», и Луна вращается вокруг Земли «не в ту сторону», и Солнце и все

планеты вращаются вокруг своих осей «не в ту сторону».

Если игнорировать асимметрию поверхности планет и считать все планеты Солнечной системы гладкими шарами, тогда невозможно отличить реальный объект от его отражения по одному лишь движению. Тот факт, что все вращается «не в ту сторону», ничего не значит, поскольку, если вы смотрите на отражение, стоя на голове, тогда все снова вращается куда положено, а в открытом космосе нет способа отличить стойку «на ногах» от стойки «на голове».

И конечно, перемена левого на правое никак не задевает гравитационное взаимодействие — главный фактор существования Солнечной системы. Если бы все вращения тел Солнечной системы вокруг осей и по орбитам внезапно изменились на противоположные, гравитационные взаимодействия правили бы обратными движениями так же точно и компетентно, как первоначальными.

Но рассмотрим следующее...

Предположим, что мы вовсе не пользовались зеркалом, и вообразим, будто направление времени изменилось само по себе. Результат напомнил бы прокрутку киноплёнки в обратном направлении. С изменением хода времени на обратный Земля как бы «попятилась» по орбите вокруг Солнца. Так же «попятятся» бы все планеты по своим орбитам, а Луна «попятилась» бы по орбите вокруг Земли. Все небесные тела Солнечной системы вращались бы «в обратную сторону» вокруг своих осей.

Однако заметьте, что «движение задом наперед» при изменении направления хода времени то же самое, что «не то направление» при зеркальном отражении. Изменение направления течения времени и зеркально отраженное пространство произ-

водят один и тот же эффект. Наблюдая только за движениями в Солнечной системе, невозможно определить, куда течет время — вперед или назад. Эта невозможность определить направление течения времени также справедлива в случае субатомных реакций (Т-сохранение)¹.

Или рассмотрим следующее...

Электрон, движущийся сквозь магнитное поле в определенном направлении, отклоняется вправо. Позитрон, имеющий противоположный заряд, двигаясь через то же самое магнитное поле в том же направлении, отклонился бы влево. Оба движения являются зеркальными отражениями, так что в этом случае изменение заряда на противоположный дает тот же эффект, что и перемена левой стороны на правую.

Или предположим, что мы обращаем время вспять. Электрон, движущийся сквозь магнитное поле, может повернуть направо, но, если провести киносъемку этого движения и прокрутить пленку задом наперед, покажется, что электрон движется назад и при этом отклоняется влево. И снова ход времени и лево-правая (зеркальная?) симметрия связаны.

Тогда может показаться, что зарядовое сопряжение (С), четность (parity) (Р) и обратный ход времени (Т) довольно тесно связаны между собой и все как-то связаны с лево-правой (зеркальной?) симметрией. Если же лево-правая (зеркальная?) симметрия нарушается в слабых взаимодействиях для одного из них, симметрия может быть восстановлена для одного или обоих других.

¹ В обычных условиях мы можем довольно легко определить направление хода времени по эффектам изменения энтропии. Это дает эквивалент асимметрии во времени. Однако там, где изменение энтропии равно нулю — как при движении планет и субатомных событиях, Т сохраняется.

Если частица что-то делает влево, а ее отражение — вправо, что невозможно (иначе отражение могло быть замечено через нарушение в сохранении P), вы можете изменить заряд на отражении-частице и превратить действие в возможность. Если действие невозможно даже при измененном заряде (иначе отражение могло быть замечено через нарушение сохранения CP), вы можете изменить направление хода времени и тогда обнаружите, что действие *возможно*. Другими словами, в слабом ядерном взаимодействии есть «сохранение CPT »¹.

Результат — Вселенная симметрична, как всегда и предполагали, в отношении сильных ядерных взаимодействий, электромагнитных взаимодействий и гравитационных взаимодействий.

Сомнения оставались лишь в отношении слабых ядерных взаимодействий, где нарушение закона сохранения четности, казалось, вносило фундаментальную асимметрию во Вселенную. Расширение концепции сохранения CPT восстановило симметрию — но только в теории.

Действительно ли сохранение CPT на практике преподносит нам симметричную Вселенную? Пока сохраняется P (четность), во Вселенной остаются равные запасы правого и левого. Что касается сохранения T (обратимость времени), также есть равные запасы прошлого и будущего. Но вот относительно C (зарядового сопряжения) на практике симметрия нарушается.

Самые обычные элементарные частицы, вовлеченные в слабые ядерные взаимодействия, — электроны и нейтрино. Чтобы симметрия осуществля-

¹ На самом деле в последние годы появились некоторые указания на то, что CPT не обязательно сохраняется в слабых взаимодействиях, и физики исследовали возможные последствия. Однако здесь не представляется возможным привести все отчеты, так что подождем и увидим.

лась на практике, должны быть равные запасы электронов и позитронов и равные запасы нейтрино и антинейтрино. Но этого не наблюдается.

Безусловно на Земле, почти наверняка в нашей Галактике и, насколько мы знаем, во всей Вселенной существует огромное количество электронов и нейтрино, но едва ли — позитронов и антинейтрино.

Тогда Вселенная — по меньшей мере наша Вселенная или, в самом крайнем случае, наша часть нашей Вселенной — электронно левосторонняя, что, возможно, оказывало соответствующее воздействие на развитие жизни.

Однако, чтобы объяснить это, мне придется радикально изменить тему и начать сначала. Что я и сделаю в следующей главе.

Глава 3

В ГЛАЗАХ ДВОИТСЯ

Мне легко пишется в двухкомнатных апартаментах в отеле, и вот примерно месяц тому назад я вдруг слышу, как кто-то громко барабанит в стену, отделяющую комнату от коридора. Естественно, я пришел в ярость. Неужели этот нарушитель спокойствия не понимает, какой тонкий процесс по созданию художественного произведения здесь идет?

Я вышел в коридор и увидел у лифтов на стремянке простого рабочего, пробивающего в стене дыру для каких-то только ему ведомых целей.

— Сэр, — сказал я вежливо, но весьма сердито, — сколько еще времени вы намерены уродовать мир пробиванием этой дыры?

Мастеровой с мозолистыми руками обратил ко мне залитое потом лицо и развязно ответил вопросом на вопрос:

— А сколько времени потребовалось Микеланджело, чтобы расписать потолок Сикстинской капеллы?

И что мне оставалось? Я расхохотался, вернулся в свою келью и бодро приступил к работе под барабанный бой, против которого больше не возражал, ведь производил его истинный художник, знающий себе цену.

Другими словами, любая работа требует времени. И даже подвиг Микеланджело, расписывающего свод в неудобной позе на спине, меркнет в сравнении с изнурительными попытками вбить тот или иной камень в величественное здание науки.

В XVII веке, например, возник вопрос, что такое свет, ответить на который не могли 148 лет, а ведь без ответа на этот вопрос не получалось логичной теории света.

История началась с Исаака Ньютона, который в 1666 году пропустил пучок солнечного света через призму и увидел, как тот распался в радужную полоску, названную им спектром.

Ньютон предположил, что, раз свет распространяется по прямой, он должен состоять из потока крошечных частичек-корпускул, движущихся с огромной скоростью. Эти частички как-то отличаются друг от друга, поскольку производят ощущение различных цветов. В солнечном свете все эти разные частички равномерно смешаны и создают в глазу впечатление белого света.

Однако, когда световые частички попадают в стекло под углом, их пути расходятся, то есть преломляются. Частички, различные по своей цветовой природе, преломляются по-разному, и цвета, составляющие белый свет, разделяются стеклом. В обычном куске стекла с двумя параллельными поверхностями эффект преломления повторяется

при выходе света из стекла, так что цвета снова сливаются в белый свет.

В призме все не так. Световые частички резко отклоняются, входя в одну грань стеклянной треугольной призмы, а выходя из второй, непараллельной грани, отклоняются в *ту же* сторону. Цвета, разделенные при входе в призму, при выходе из нее разделяются еще сильнее.

Свое наблюдение Ньютон подтвердил тщательными экспериментами и убедительными рассуждениями, но чем же отличаются друг от друга частички, создающие ощущение различных цветов, объяснить не смог.

Его современник, датский физик Христиан Гюйгенс, в 1678 году предположил, что свет — волновое явление, и таким образом легко объяснил различные цвета. Световая волна должна иметь определенную длину волны, и свет с разными длинами волн вполне может производить в глазу ощущение разных цветов (точно так же, как звуковые волны разной длины по-разному воспринимаются ушами).

Но и с волнами возникли проблемы. Весь опыт человечества, связанный с волнами (волны на воде, например, и звуковые волны), доказывал, что волны огибают препятствия. А свет распространялся мимо препятствий по прямой, образуя резкие тени.

Гюйгенс попытался обосновать свою теорию математическими выводами, доказывающими, что свойство огибать препятствие зависит от длины волны. Если длина световой волны *гораздо* меньше звуковой или водяной, то она не будет заметно отклоняться при огибании обычных препятствий.

Ньютон признал удобство волновой теории, но не смог согласиться с предположением о существовании волн с настолько крошечной длиной, чтобы отбрасывать резкие тени. Он придерживался кор-

пускулярной теории света, а авторитет его среди ученых был так высок, что почти все они согласились с его теорией света, лишь бы не ссориться с Ньютоном.

Однако в 1669 году датский физик Эразм Бартолин — весьма малозаметная фигура — сделал наблюдение, обеспечившее ему место в истории науки, ибо он поставил вопрос, на который не могли ответить ее известные титаны.

Бартолин получил из Исландии прозрачный кристалл, ставший известным как исландский шпат, где шпат — старое название для неметаллического минерала¹.

Кристалл этот имел форму ромбоэдра (нечто вроде наклонного куба) с шестью плоскими гранями, где каждая грань параллельна противоположной. Бартолин изучал свойства этого кристалла и, как я предполагаю, однажды поместил его на лист бумаги с надписью. А затем, взглянув на надпись через кристалл, он заметил, что она раздвоилась.

То есть если смотришь через кристалл на предмет, то видишь два предмета, а не один. Получалось, что каждый луч света, попадавший в кристалл, преломлялся, но не одинаковым образом. Часть света преломлялась определенным образом, а остаток преломлялся еще сильнее, так что если в кристалл входил один луч, то выходило два. Это явление было названо «двойным лучепреломлением».

Любая теория света должна была объяснить двойное лучепреломление, но ни Гюйгенс, ни Ньютон сделать это не смогли. Очевидно, что волны или частицы света должны были разделяться на два совершенно разных вида, и один вид мог вести себя определенным образом, а другой вид — иначе. Это

¹ На самом деле исландский шпат — прозрачная разновидность известкового шпата — карбоната кальция.

разделение не могло иметь ничего общего с цветом, ибо все цвета света равным образом испытывали в исландском шпате двойное лучепреломление.

Гюйгенс считал световые волны «продольными волнами», то есть подобными по структуре звуковым волнам (правда, с гораздо меньшей длиной волны), а продольные волны представляют собой чередования сжатий и разрежений в эфире, в котором они распространяются. Гюйгенс не понимал, как продольные волны могут распадаться на два совершенно различных вида.

Однако и Ньютон не мог представить, что корпускулы света делятся на два совершенно различных вида. Он весьма туманно предположил, что корпускулы могут отличаться друг от друга каким-то образом по аналогии с двумя противоположными полюсами магнита, но не развил свою точку зрения, поскольку совершенно не представлял, как ее доказать.

Физикам пришлось отступить. Наблюдение Бартолина не подходило ни к одной из имеющихся теорий света, и — насколько это было возможно — его предпочитали игнорировать.

Это вовсе не свидетельствует о безнравственности ученых или злых кознях недалекого «истеблшмента». Наоборот, это имело смысл.

Предположим, что какой-то кусочек не подходит к составной картинке-загадке. Если вы все бросите и начнете беспокоиться только об этом непонятном кусочке, то можете никогда не дойти до цели. Однако если вы проигнорируете этот кусочек и продолжите собирать другие части картинки, используя любую систему, которая кажется удобной, то, вполне возможно, в конце концов наступит момент, когда *другим* путем вы обретете новое понимание и неожиданно столь беспокоивший вас кусочек встанет на место без всяких проблем.

Конечно же о двойном лучепреломлении не забыли. Почти полтора века оно волновало научную общественность, и в 1808 году Парижская академия предложила награду за наилучшее математическое решение проблемы. Двадцатитрехлетний французский военный инженер Этьенн Луи Малюс (придерживавшийся корпускулярной теории света Ньютона) решил испытать свои силы. Он достал несколько кристаллов с двойным лучепреломлением и начал с ними экспериментировать. В конце концов премии он не удостоился, зато сделал интересное наблюдение и придумал новую фразу, пополнившую научную терминологию.

Его окно выходило на Люксембургский дворец, и как-то раз Малюс направил кристалл на солнечный свет, отражавшийся от дворцового окна. Он полагал, что увидит через кристалл два окна, но ничего подобного! Он увидел лишь одно окно.

Напрашивался единственный вывод: при взаимодействии с солнечным светом окно отразило лишь один из двух видов световых частиц.

Малюс вспомнил слова Ньютона о том, что разновидности световых частиц могут быть аналогичны противоположным полюсам магнита, и развил эту мысль, предположив, что отразился лишь один полюс света и лучи, попавшие в его комнату, содержат частицы только этого полюса.

Малюс назвал свет, попавший в его комнату, «поляризованным» светом. Это слово и связанные с ним сочетания остались в физике до наших дней, хотя базируются на ложных представлениях. К тому же несостоятельность гипотезы о полюсах света была доказана еще до того, как Малюс сделал свое наблюдение.

В 1801 году английский физик Томас Юнг начал серию экспериментов, в ходе которых оказалось, что один световой луч каким-то образом периоди-

чески аннулирует другой и в результате получается не ровно освещенная поверхность, а чередование светлых и темных полос.

Если свет состоит из частиц, то такую интерференцию объяснить чрезвычайно сложно. Как одна частица может аннулировать другую?

Однако с точки зрения волновой теории интерференция объясняется очень просто. Если световой луч состоит из чередующихся разрежений и сжатий, то, например, при совпадении сжатия одного луча с разрежением другого они взаимно компенсируются и действительно получается темнота.

Юнг сумел объяснить все характеристики своей интерференционной картинке с помощью волновой теории Гюйгенса. Разумеется, многие физики (особенно английские) пытались возражать, защищая честь Ньютона. Однако даже самое славное имя не может бесконечно противостоять доступным любому наблюдениям и безупречным объяснениям. Итак, победила волновая теория.

И все же Юнг, как и Гюйгенс, не смог объяснить двойного лучепреломления.

Однако в 1817 году французский физик Огюстен Жан Френель предположил, что световые волны не продольные, как звуковые, и не представляют собой чередующиеся сжатия и разрежения в эфире, а «поперечные», как волны на поверхности воды, где бегущие гребни и впадины перпендикулярны линии распространения волны.

Поперечные волны объясняли интерференцию не хуже, чем продольные. Там, где гребень волны одного луча налагается на провал волны другого, два световых луча действительно могут создать темноту.

Водяные волны, послужившие моделью для световых волн, могут колебаться лишь вверх и вниз под прямым углом к двухмерной водной поверхности.

сти. Однако у луча света гораздо больше свободы. Представьте такой луч, движущийся по направлению к вам. Он может колебаться вверх и вниз или вправо и влево, но всегда под прямым углом к направлению движения. (Вы сможете убедиться в этом, если привяжете один конец длинной веревки к столбу и возбудите в нем колебания вверх и вниз, вправо и влево или наклонно.)

Как только была высказана гипотеза о поперечных волнах, ее приняли удивительно легко, ибо с ее помощью наконец-то объяснилось двойное лучепреломление, которое не могли объяснить почти полтора столетия.

Представьте, что световые волны в обычном луче света могут колебаться во все стороны под прямым углом к направлению распространения волны — вверх и вниз, влево и вправо и под любым косым углом. Это и будет обычным или «неполяризованным» светом.

Однако предположим, что есть некий способ разделения света на два вида: один — в котором все волны колеблются вверх-вниз, и другой — в котором все волны колеблются влево-вправо.

Каждая волна неполяризованного света, колеблющаяся под косым углом, разделится на две волны меньшей энергии разрешенного класса.

Если отдельная волна сориентирована ровно под сорок пять градусов к вертикали — точно на полпути между верхом и низом, правым и левым — она разделится на две волны: одну, где колебания направлены вверх-вниз, и другую, где колебания направлены влево-вправо, и каждой достанется половина энергии первоначальной волны. Если косая волна направлена ближе к горизонтали, чем к вертикали, то она разделится на две волны, где часть,

направленная влево-вправо, будет иметь больше энергии. Если бы волна была ближе к вертикали, тогда больше энергии получила бы та ее часть, что ближе к вертикали.

На самом деле легко доказать, что луч неполяризованного света может быть разделен на два луча равной энергии, в одном из которых все поперечные волны имеют одно направление, а все другие поперечные волны лежат в плоскости, находящейся под прямым углом к первой. Поскольку в каждом случае все волны движутся в единой плоскости, неполяризованный луч света можно рассматривать как распавшийся на два взаимно перпендикулярных «плоскополяризованных» луча.

Но что заставляет свет распадаться на плоскополяризованные лучи? Определенные кристаллы. Кристаллы, состоящие из строго упорядоченных рядов атомов. Проходя через них, свет иногда вынужден ориентировать волны только в определенных плоскостях.

Примерно такую картину вы увидите, если пропустите веревку через частокол и привяжете ее к столбу где-нибудь с другой стороны, а затем возбуждете в веревке волны в вертикальной плоскости. Проходя в щель между деревянными рейками, волна и с другой стороны забора останется такой же. Если вы возбуждете волны в поперечной плоскости вправо-влево, то с другой стороны забора волны в веревке не будет. Если же волны будут направлены под любым косым углом, то только те волны, которые хотя бы частично попадают между рейками, окажутся с другой стороны. И что бы вы ни делали, с другой стороны забора будут только волны, колеблющиеся вверх-вниз. Штакетник поляризует «веревочные волны».

Такие кристаллы, как исландский шпат, допускают лишь две плоскости вибрации, взаимно пер-

пендикулярные. Неполяризованный свет, проникая в исландский шпат, распадается на два взаимно перпендикулярных плоскополяризованных луча. Оба луча поляризованного света взаимодействуют с атомами по-разному, распространяются внутри кристалла с разными скоростями, и более медленный луч преломляется под большим углом. Оба луча движутся внутри кристалла разными путями и выходят из него в разных местах. Именно по этой причине, рассматривая предмет через исландский шпат, мы видим два изображения, и загадка Бартолина разгадана.

Плоская поляризация также может наблюдаться при отражении. Если неполяризованный луч падает на отражающую поверхность под каким-то углом, то часто случается так, что волны, занимающие определенную плоскость, отражаются более эффективно, чем лежащие в других плоскостях. Отраженный луч получается сильно или даже полностью поляризованным — и вот вам решение проблемы Малюса.

В 1828 году шотландский физик Уильям Николь поэкспериментировал с исландским шпатом. Он распилил кристалл пополам определенным образом¹ и склеил две половинки канадским бальзамом. Входя в кристалл, свет расщепляется на два плоскополяризованных луча, распространяющиеся в слегка различных направлениях и попадающие в слой канадского бальзама под слегка различными углами. Тот луч, что падает под меньшим

¹ Иногда у меня возникает соблазн воспользоваться диаграммой, и изредка я это делаю. Однако мое главное оружие — слово, и потому я стараюсь обходиться без «костылей»-картинок. В данном случае подробное описание разделения кристалла не имеет прямого отношения к теме.

углом к перпендикуляру, проходит через другую половинку кристалла и в конце концов выходит в воздух. Тот, что падает под большим углом, отражается и никогда не входит во вторую половинку кристалла.

Другими словами, луч неполяризованного света входит в призму Николя с одной стороны, а с другой стороны выходит один луч плоскополяризованного света.

Теперь представьте две призмы Николя, сориентированные таким образом, что луч света, проходящий через одну, попадает во вторую. Если две призмы Николя параллельны, то есть в обеих атомы сориентированы идентично, луч поляризованного света, выходящий из первой призмы, беспрепятственно проходит сквозь вторую.

Это как в случае с веревкой, проходящей через два частокола, в которых штакетины расположены вертикально. Веревоочная волна с колебаниями вверх-вниз, проходящая между штакетинами первого забора, пройдет и между штакетинами второго.

Но что, если две призмы Николя сориентированы перпендикулярно друг к другу? Плоскополяризованный луч, выходящий из первой призмы Николя, преломляется под большим углом второй призмой и отражается от прослойки канадского бальзама в ней. Из второй призмы не выйдет вообще никакого света. (Если мы вернемся к аналогии с забором и во втором расположим штакетины горизонтально, то увидим, что любые вертикальные волны, прошедшие через первый забор, будут остановлены вторым. Никакая веревочная волна не сможет пройти через два забора, если в одном из них штакетины вертикальны, а в другом горизонтальны.)

Теперь предположим, что первую призму Николя вы закрепите, но вторая сможет свободно вращаться. Запаситесь также окуляром, через ко-

торый вы сможете наблюдать за светом, проходящим через обе призмы Николя.

Начните эксперимент с двух призм Николя, расположенных параллельно. В окуляр вы увидите яркий свет. Медленно вращайте вторую призму, которая находится ближе к вашему глазу. Все меньше и меньше света, выходящего из первой призмы, сможет преодолеть вторую, поскольку все больше и больше света отражается от второго слоя канадского бальзама. По мере того, как вы вращаете вторую призму, наблюдаемый вами свет становится все слабее и, слабее, и когда угол поворота станет равен девяноста градусам, вы вообще не увидите света. И не важно, вращаете ли вы призму по часовой стрелке или против.

С помощью такой пары призм Николя вы можете определить плоскость колебаний луча поляризованного света. Предположим, что такой луч выходит из закрепленной призмы Николя, но вы точно не знаете, как она сориентирована. Это означает, что вы не знаете расположения плоскости колебаний выходящего света. В этом случае вам нужно всего лишь поворачивать вращающуюся призму Николя, пока луч, который вы видите, не достигнет максимальной яркости¹. В этот момент вторая призма сориентирована параллельно первой, и из положения второй вы узнаете плоскость колебаний поляризованного света.

По этой причине первая, закрепленная, призма Николя называется поляризатором, а вторая, вращающаяся, анализатором.

¹ Весьма трудно различить момент-достижения светом максимальной яркости, но существует устройство, через которое вы видите световой кружок разделенным на две половинки, и вам остается поворачивать призму до тех пор, пока оба полу-круга не достигнут равной освещенности, а это легко определить.

Теперь представьте инструмент, в который между поляризатором и анализатором можно поместить стандартную трубку, содержащую некую жидкость, прозрачную для света. Для обеспечения одинаковых условий температура поддерживается на заданном уровне, используется свет одной, фиксированной длины волны и тому подобное.

Если в трубке находится дистиллированная вода, то с плоскостью поляризованного света, выходящего из поляризатора, ничего не происходит. Воздух, стекло, вода — все они могут поглощать и поглощают немного света, но анализатор сохраняет плоскость поляризации. Если вместо дистиллированной воды используется соляной раствор, происходит то же самое.

Однако стоит поместить в трубку раствор сахара, и мы видим нечто новенькое. Свет, наблюдаемый через анализатор, теперь сильно ослаблен, и вовсе не в результате поглощения. Сахарный раствор поглощает свет ненамного больше, чем сама вода.

Кроме того, если вы повернете анализатор, свет снова станет ярче. И в конце концов, если вы полностью измените ориентацию анализатора, свет станет таким же ярким, каким был вначале. Это происходит потому, что сахарный раствор изменил плоскость поляризованного света. О подобных веществах говорят, что они проявляют оптическую активность. Инструмент, используемый для обнаружения и измерения оптической активности, называют поляриметром.

Первый пригодный поляриметр сконструировал в 1840 году французский физик Жан Баптист Био. Он начал изучать оптическую активность задолго до того, как изобрел поляриметр (чтобы об-

легчить себе работу и сделать измерения более точными), и еще до того, как Николь сделал свою первую призму.

Например, уже в 1813 году Био сообщил о наблюдениях, которые впоследствии были объяснены с точки зрения новой поперечно-волновой теории. Оказалось, что правильно ограненный кристалл кварца вращает плоскость проходящего через него поляризованного света. Более того, чем толще кусок кварца, тем больше угол поворота плоскости. К тому же некоторые образцы кварца вращали плоскость по часовой стрелке, а некоторые — против.

Обычно о вращении по часовой стрелке говорили, что плоскость поляризации вращалась вправо. На самом деле это весьма неточный и двусмысленный способ описания происходящего. Если рассматривать строго вертикальную плоскость, то при повороте по часовой стрелке ее верхний конец действительно вращается вправо, но нижний конец вращается влево. И наоборот в случае вращения против часовой стрелки.

Однако, когда выражение приживается в литературе, изменить что-либо сложно, каким бы убогим, неподходящим или даже абсолютно неверным оно ни было. (Например, само выражение «поляризованный свет».) В результате то, что вращает плоскость поляризованного света по часовой стрелке, стали называть правовращающим, а то, что вращает ее против часовой стрелки, левовращающим.

Именно Био доказал существование двух разновидностей кварцевых кристаллов, правовращающего и левовращающего. Используя первые буквы, мы можем говорить о *d*-кварце (правовращающий — dextrorotatory) и *l*-кварце (левовращающий — levorotatory).

Кристаллы кварца имеют довольно сложную форму. В некоторых разновидностях — и как раз в тех, что проявляют оптическую активность, — можно разглядеть только на одной стороне кристалла особые маленькие грани, вызывающие асимметрию. Более того, встречается две разновидности таких кристаллов: у одной лишняя грань наблюдается с одной стороны, а у второй — с другой.

Эти две асимметричные разновидности кварцевых кристаллов являются зеркальными. Не существует способа, который позволил бы вам повернуть одну разновидность в трехмерном пространстве так, чтобы она выглядела как вторая, точно так же вы не можете выкрутить правый башмак, чтобы он подошел на левую ногу. И одна из этих разновидностей — правовращающая, а ее зеркальное отображение — левовращающее.

Вполне допустимо предположить, что асимметричный кристалл поворачивает плоскость поляризованного света. Асимметрия кристалла должна быть такой, чтобы проходящий через него световой луч постоянно подвергался асимметричной силе, которая как бы тянет луч в одну сторону сильнее, чем в другую. Следовательно, плоскость вращается и вращается с постоянной скоростью, тем большей, чем большее расстояние приходится проходить лучу в кристалле. Кроме того, если кристалл поворачивает плоскость света в одном направлении, то, при прочих равных условиях, его зеркальное отображение будет неизбежно поворачивать плоскость в противоположном направлении.

Вы можете пойти еще дальше и предположить, что *любое* вещество, кристаллизующееся в одну из двух зеркальных форм, будет оптически активным. К тому же если два кристалла — зеркальных отображения взяты из одного и того же вещества и имеют одинаковую толщину, то, при прочих равных усло-

виях (таких, как температура и длина световой волны), они проявят оптическую активность абсолютно одинаковой интенсивности: один — по часовой стрелке, другой — против часовой стрелки.

И действительно, все собранные данные подтверждают абсолютную справедливость подобного предположения.

Все складывалось прекрасно, но Био все испортил, обнаружив, что определенные жидкости, такие как скипидар и некоторые другие растворы — камфары в спирте и сахара в воде — также оптически активны.

Возникла проблема. Оптическая активность тесно связана с асимметрией во всех экспериментах с кристаллами, но как быть с асимметрией в жидком состоянии? В 1840 году ни один химик не мог этого понять.

И опять решение одной научной проблемы породило другую. (И слава богу, ибо иначе наука была бы неинтересна!) Обоснование поперечности световых волн разрешило проблемы Бартолина и Малюса, но оставило науку с проблемой Био: как жидкость, казалось не имеющая асимметрии, создает эффект, логически объясняемый только асимметрией?

Этот вопрос приводит нас к первой великой научной аванюре Луи Пастера и следующей главе.

Глава 4

ТРЕХМЕРНАЯ МОЛЕКУЛА

Когда я преподавал в медицинском институте, мне всегда приходилось преодолевать психологические трудности общения со строптивой аудиторией. Студенты пришли изучать медицину, им не терпелось облачиться в белые халаты, вооружить-

ся стетоскопом, шпателем для отдавливания языка и блоком рецептов.

А вместо этого выяснилось, что первые два года (по крайней мере, так было во времена моего активного преподавания) им придется изучать «фундаментальные науки». То есть они вынуждены слушать лекции, очень похожие на те, которыми их мучали в колледже.

Некоторые из фундаментальных наук хотя бы имели явную связь с медициной, какой студенты ее представляли, особенно анатомия, где они с восторгом потрошили трупы. А вот самой ненужной, далее других отстоящей от игры доктор—пациент, самой абстрактной и самой заумной, к тому же преподаваемой презируемыми докторами философии была биохимия. И естественно, именно биохимию я преподавал.

Я испробовал множество способов, чтобы преодолеть естественное презрение студента-медика к биохимии. Лучше всего срабатывал (или, по крайней мере, приносил мне больше всего удовольствия) вдохновенный рассказ о «величайшем открытии во всей истории медицины» — микробной теории болезней. Когда обстоятельства того требуют, я могу выступить очень ярко и вознести открытие и его следствия на головокружительную высоту.

А затем я обычно говорил: «Но вы, вероятно, считаете само собой разумеющимся, что ни один физик не мог произвести такую крутую ломку в медицине. Первооткрывателем был Луи Пастер, доктор философии, биохимик».

Однако первое великое открытие Пастера не имело никакого отношения к медицине и лежало в области чистой химии. Речь идет об оптически активных веществах — теме моей предыдущей главы. Чтобы оценить вклад Пастера, давайте начнем с самого начала.

В винодельческом процессе ферментации виноградного сока отделяется илистая субстанция, называемая tartar (винный камень) — слово неизвестного происхождения. В 1769 году шведский химик Карл Вильгельм Шееле выделил из винного камня соединение с кислотными свойствами, которое, естественно, назвал винной кислотой.

Само по себе это открытие не было суперважным, но затем, в 1820 году, немецкий производитель химикатов Карл Кестнер изготовил нечто, что, по его мнению, должно было быть винной кислотой и все же таковой не являлось, например имело меньшую растворимость. Образцы были посланы нескольким химикам, которые с интересом приступили к их изучению. В итоге французский химик Жозеф Луи Гей-Люссак назвал это вещество «виноградной кислотой» (racemic) от латинского слова, означающего «гроздь (кисть) винограда».

Чем тщательнее изучали винную и виноградную кислоты, тем более удивительными находили различия в их свойствах. Анализ показал, что молекулы обеих кислот состоят из одинакового количества одних и тех же атомов. Используя современные символы, формулой и того и другого вещества была $C_4H_6O_6$.

В начале XIX столетия, когда атомистической теории насчитывалось около четверти века, химики решили, что каждая отличная от других молекула состоит из разного количества разных атомов, то есть фактически за разницу свойств отвечает различное содержание атомов. И вот получены два вещества со вполне различимыми свойствами, но состоящие из одного и того же количества одних и тех же атомов. Очень тревожное явление, особенно если учесть, что о подобном сообщалось *не* в первый раз.

В 1830 году непоколебимый шведский химик Йенс Якоб Берцелиус¹, не допускавший возможности существования молекул с одинаковой структурой, но с разными свойствами, детально исследовал и винную, и виноградную кислоту. С великим сожалением ему пришлось признать, что, несмотря на все его неверие, подобное существует. Он смирился с неизбежным и назвал вещества с одинаковой структурой и различными свойствами «изомерами» от греческого слова, означающего «равные количественные соотношения (пропорции)» элементов.

Но каким же образом изомеры, имея один и тот же атомный состав, все же являются разными веществами? Может быть, важно не только число атомов каждого элемента, но и их физическое расположение внутри молекулы? Однако химики почему-то шарахались от этой мысли. Все представление об атомах было весьма шатким. Атомы были полезны при объяснении химических свойств, но их невозможно было увидеть или как-либо обнаружить, так что они вполне могли оказаться не более чем удобной фантазией. Завести разговор о расположении атомов в молекулах означало подойти к восприятию атомов как реальных объектов, на что не осмеливалось большинство химиков.

Явление изомерии, таким образом, осталось необъясненным, и его оставили в покое до тех пор, пока развитие химии не представит объяснение.

¹ Как вы уже, вероятно, замечали, я обычно упоминаю множество ученых и их вклад каждый раз, как углубляюсь в историю науки. И это не просто фамильярное упоминание громких имен. Любой прогресс в науке есть результат совместного труда ряда людей, и мне нравится это демонстрировать. Я также с особой осторожностью упоминаю национальности ученых, ибо важно сознавать, что наука интернациональна.

Одно различие в свойствах винной и виноградной кислот вызывало особый интерес. Раствор винной кислоты или ее солей (то есть соединения, в которых водород кислоты заменен атомом таких элементов, как натрий или калий) оказался оптически активным. Он поворачивал плоскость поляризованного света по часовой стрелке и, следовательно, был правовращающим (см. предыдущую главу), так что соединение вполне можно было назвать *d*-винной кислотой.

С другой стороны, раствор виноградной кислоты был оптически неактивным. Он *не* поворачивал плоскость поляризованного света ни в какую сторону. Это различие в свойствах было наглядно продемонстрировано французским химиком Жаном Баптистом Био, которого я упоминал в предыдущей главе как первооткрывателя науки поляриметрии.

В то время никто не знал, откуда берется оптическая активность вещества в растворе, но все твердо знали следующее: кристаллы, обладающие оптической активностью, имеют асимметричную структуру. В этом случае, если кому-то надо было приготовить кристаллы винной кислоты и виноградной кислоты или, соответственно, их солей, обязательно оказывалось, что кристаллы первой асимметричны, а кристаллы второй симметричны.

Однако в 1844 году немецкий химик Эйльгард Мичерлих провел следующее исследование. Он сформировал кристаллы калиево-натриевой соли (*sodium ammonium salt*) винной и виноградной кислот, тщательно их изучил и объявил, что оба вещества являются абсолютно идентичными кристаллами.

Это сообщение разнесло в пух и прах базовые открытия многообещающей науки поляриметрии и привело всех в смятение.

Именно в этот момент на научную сцену вышел юный французский химик Луи Пастер. Ему было немногим более двадцати лет, и учился он весьма средне, однако ему хватило смелости предположить, что Мичерлих (один из ведущих химиков) ошибся. В конце концов изучаемые им кристаллы были маленькими, и, возможно, он упустил мелкие детали.

Пастер приступил к делу и начал создавать кристаллы и усердно изучать их через увеличительное стекло. В конце концов он решил, что в кристаллах калиево-натриевой соли винной кислоты есть определенная асимметрия. Пока все шло хорошо. Этого, по меньшей мере, ожидали, поскольку вещество было оптически активным.

Но возможно ли, что калиево-натриевая соль виноградной кислоты формирует точно такие же кристаллы, какие создавал Мичерлих? Тогда получились бы асимметричные кристаллы оптически *неактивного* вещества, что вызывало сильную тревогу.

Пастер получил и изучил кристаллы соли виноградной кислоты и обнаружил, что они действительно асимметричны, *но не все кристаллы идентичны*.

Некоторые кристаллы действительно были в точности такими же, как кристаллы калиево-натриевой соли винной кислоты, но другие были зеркальными отображениями первой группы и имели асимметрию противоположного свойства.

Могла ли виноградная кислота наполовину быть винной кислотой, а наполовину ее зеркальным отображением? И стало быть, причина оптической неактивности виноградной кислоты заключается в том, что она состоит из двух частей и одна часть нейтрализует влияние другой?

Это следовало досконально проверить. Вооружившись пинцетом, Пастер начал изучать крошеч-

ные кристаллы соли виноградной кислоты. Все правосторонние кристаллы он откладывал в одну сторону; все левосторонние — в другую. Трудиться пришлось долго, поскольку он не желал ошибиться, но в конце концов дело было сделано.

Затем Пастер растворил каждую кучку кристаллов в отдельном сосуде с водой и обнаружил, что оба раствора оптически активны!

Один из растворов был правовращающим, точно как винная кислота. На самом деле это и *была* во всех смыслах винная кислота.

Другой раствор был левовращающим и отличался от винной кислоты тем, что вращал плоскость поляризованного света в противоположном направлении. Это была *l*-винная кислота.

Пастер объявил о результатах своих исследований в 1848 году, когда ему было всего лишь двадцать шесть лет. Он установил, что виноградная кислота оптически неактивна только потому, что состоит из равных количеств *d*-винной и *l*-винной кислот.

Это сообщение вызвало сенсацию, и Био, великий отец поляриметрии, которому в то время было семьдесят четыре года, предусмотрительно отказался признать открытие Пастера. Тогда Пастер решил лично продемонстрировать эксперимент патриарху.

Био дал молодому ученому лично им испытанную порцию виноградной кислоты, в оптической неактивности которой он был уверен. Под бдительным взглядом старика Био, не желавшего допустить мошенничества, Пастер получил соль, кристаллизовал ее, выделил кристаллы и кропотливо разделил их с помощью увеличительного стекла и пинцета. Затем к делу приступил Био. Он лично подготовил растворы из каждого сорта кристаллов и поместил их в поляриметр.

Ну конечно, вы уже догадались. Био обнаружил, что оба раствора оптически активны и прямо противоположны друг другу. После этого с типично галльским энтузиазмом он стал фанатичным сторонником Пастера.

На самом деле Пастеру фантастически повезло. При кристаллизации калиево-натриевой соли виноградной кислоты вовсе не обязательно формируются отдельные кристаллы — зеркальные отображения. Вполне могут сформироваться сочетания кристаллов, в каждом из которых будут равные количества молекул *d*-винной и *l*-винной кислот. Эти сочетания кристаллов симметричны.

Если бы Пастер получил такие кристаллы, он все равно заметил бы их отличие от кристаллов калиево-натриевой соли винной кислоты и опроверг бы утверждение Мичерлиха. С другой стороны, он упустил бы гораздо более великое открытие причины оптической неактивности виноградной кислоты и не стал бы самым первым человеком, создавшим оптически активные вещества из оптически неактивных.

Так происходит, что при температурах выше 28 градусов по Цельсию (82 градусов по Фаренгейту) из растворов образуются только симметрично комбинированные кристаллы. Чтобы образовать отдельные группы асимметричных кристаллов, требуются растворы калиево-натриевой соли виноградной кислоты при температурах ниже 28 градусов по Цельсию. Более того, получающиеся кристаллы обычно так малы, что их невозможно разделить под увеличительным стеклом. Так уж получилось, что Пастер работал при низких температурах и в условиях, подходящих для формирования достаточно больших кристаллов.

Можно представить Пастера обычным человеком, воспользовавшимся неожиданной удачей, но (как я постоянно рассказывал своим студентам) он

умудрялся пользоваться подобными неожиданными счастливыми случаями примерно каждые пять лет. И очень скоро вы начинаете понимать, что выдающимся был Пастер, а не законы фортуны.

Сам Пастер однажды сказал: «Удача благоволяет подготовленному уму» («Chance favours the prepared mind»). Каждому из нас выпадает своя доля удачи, и великим становится тот, кто способен узнать этот шанс и воспользоваться им.

Пастер продолжил исследование винных кислот и обнаружил, что если долго нагревать *d*-винную кислоту при определенных условиях, то некоторые молекулы преобразуются в *l*-форму и получается виноградная кислота. (С тех пор способность менять оптическую активность на оптическую неактивность при нагревании или каком-либо химическом процессе через образование некоей противоположно активной формы стали называть «рацемизацией».)

Пастер также нашел разновидность винной кислоты, оптически неактивной, способной разделяться на противоположные формы при любых условиях и обладающей свойствами, отличными от свойств виноградной кислоты. Он назвал ее мезовинной кислотой, от греческого слова, обозначающего «промежуточное звено, посредник», поскольку она казалась промежуточным звеном между *d*- и *l*- формами кислоты.

Однако все эти факты не могли объяснить оптической активности растворов. Действительно, некоторые кристаллы симметричны, а другие асимметричны в той или иной степени, однако в растворах нет никаких кристаллов, а есть только молекулы.

Но могут ли сами молекулы сохранять асимметрию кристаллов? Не является ли асимметрия

кристаллов отражением асимметрии составляющих их молекул? Не является ли рацемизация результатом перегруппировки атомов в молекуле под действием тепла? Пастер во всем этом не сомневался, но не мог придумать, как доказать или продемонстрировать перегруппировку атомов.

В 1860-х годах немецкий химик Фридрих Август Кекуле разработал систему, в которой молекула представлялась не просто смесью какого-то количества атомов того или иного химического элемента, а совокупностью атомов, определенным образом связанных друг с другом (см. главу 13). Маленькие черточки между символами химических элементов обозначали связи одного атома с другим, и молекула выглядела как детский конструктор.

Однако структурные формулы Кекуле сочли слишком схематичными и признали всего лишь полезным инструментом для химиков, работающих с органическими веществами и реакциями. Как и в случае с атомами, химики не были готовы признать, что система Кекуле отражает истинную ситуацию внутри молекул.

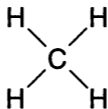
Структурные формулы Кекуле действительно объяснили существование многих изомеров, поскольку продемонстрировали явные различия в расположении атомов даже при одинаковом количестве атомов одного и того же элемента в молекуле. Однако они *не* объяснили особенностей тех «оптических изомеров», которые отличались *только* тем, в какую сторону они поворачивали плоскость поляризованного света.

Теперь перейдем к голландскому химику Якобу Гендрику Вант-Гоффу, занявшемуся этой проблемой в 1874 году, когда ему было всего лишь

двадцать два года. Следующие рассуждения помогут понять ход его мыслей.

Согласно системе Кекуле, атом углерода представлен буквой С с четырьмя отходящими от нее маленькими связями. Обычно эти черточки направ-

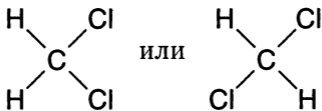
лены в углы воображаемого квадрата $\begin{array}{c} \diagup \quad \diagdown \\ \text{C} \\ \diagdown \quad \diagup \end{array}$, так что угол между двумя соседними связями составляет 90 градусов. Соединяясь с четырьмя атомами водорода, атом углерода образует вещество метан, которое будет выглядеть так:



Идентичны ли эти четыре связи? Если каждая каким-либо образом отличается от остальных, тогда что случится, если один из атомов хлора заместит атом водорода, чтобы образовать метилхлорид? Конечно, тогда должно существовать четыре разных метилхлорида, в зависимости от того, к какой из четырех связей присоединится атом хлора.

Но четырех разных метилхлоридов не существует. Есть только один метилхлорид и не более того. То есть все четыре связи хлора эквиваленты, и действительно, раз все четыре направлены в углы квадрата, этого следовало ожидать. Один угол квадрата никоим образом не отличается от другого.

А теперь рассмотрим случай, когда *два* атома хлора замещают атомы водорода, чтобы образовать метиленхлорид. Тогда, если мы имеем дело со связями, направленными в углы квадрата, должно существовать два различных метиленхлорида, в зависимости от того, расположены ли атомы хлора в соседних или противоположных углах квадрата:



И опять ничего подобного. Существует только один метиленхлорид, что доказывает несоответствие структурных формул Кекуле реальности (да никто на соответствие и не претендовал).

Одной из причин такого несоответствия было то, что ради удобства все они рисовались двухмерными — то есть на плоскости, — а вряд ли все молекулы в природе могут располагаться строго в одной плоскости.

Четыре связи атомов углерода почти наверняка распределены в трех измерениях, и необходимо выбрать некое трехмерное условие, при котором каждая связь одинаково расположена по отношению к трем другим. Только в этом случае может существовать единственный метиленхлорид.

Самый простой выход из положения: направить четыре связи к вершинам тетраэдра¹. Тогда атом хлора словно отдыхает на трех связях, образующих приземистую треногу, а четвертая связь направлена прямо вверх. И не важно, какая из связей направлена вверх, ибо три другие всегда образуют эту приземистую треногу. Таким образом атом углерода может находиться в любой из четырех различных позиций и каждый раз выглядеть одинаково. Более того, любая связь равно удалена от каждой из трех других. Угол между любыми двумя связями составляет 109,5 градуса.

¹ Т е т р а э д р — тело, ограниченное четырьмя равносторонними треугольниками. Наиболее наглядна трехмерная модель. Если вам трудно ее представить, то, возможно, вы знакомы с формой египетских пирамид — квадратное основание, а каждая стена тянется к вершине от одной стороны основания с наклоном внутрь. А теперь представьте в основании не квадрат, а треугольник, и вот вам тетраэдр.

Если мы имеем дело с таким тетраэдрическим углеродом, то пока две из связей прикреплены к идентичным атомам (или группам атомов), не имеет значения, какие атомы или группы атомов прикреплены к двум другим; в каждом случае все возможные компоновки эквивалентны и образуется только одна молекула.

Таким образом, если к четырем связям атома углерода прикреплены *aaaa*, или *aaab*, или *aabb*, или *aabc*, то не имеет значения, к какой связи какой атом прикреплен. Если вы соедините их так, что образовавшиеся две структуры покажутся вам различными, то, поворачивая первую модель так, чтобы какая-то другая связь была направлена вверх, вы сможете сделать модели идентичными.

Дело обстоит иначе, когда к четырем связям прикреплены четыре разных атома или группы атомов: *abcd*. В этом случае возможны две совершенно разные компоновки, одна из которых является зеркальным отображением другой.

Атом углерода, к которому присоединены четыре разных атома или группы атомов, называется «асимметричным углеродом».

Оказалось, что оптически активные органические соединения неизменно имеют асимметричные молекулы, если пользоваться системой Вант-Гоффа. Почти всегда присутствует, по меньшей мере, один асимметричный атом углерода. (Иногда встречается асимметричный атом не углерода, а иногда асимметричная молекула, хотя все составляющие ее атомы углерода симметричны.)

В винной кислоте присутствуют два асимметричных атома углерода. Любой может быть представлен в определенной конфигурации или в ее зеркальном отображении. Давайте представим их произвольно как *p* и *q* (поскольку *q* является зеркальным отображением *p*). Если оба атома углеро-

да — *pp*, то мы имеем *d*-винную кислоту, а если *qq*, то *l*-винную кислоту.

Если две половины молекулы, каждая с одним асимметричным углеродом, не идентичны, мы получаем две другие оптически активные формы: *pq* и *qp*. Однако у винной кислоты обе половины идентичны по структуре, так что *pq* и *qp* идентичны и в каждом случае оптическая активность одной половины компенсирует оптическую активность другой половины. Суммарный результат — оптическая неактивность, и мы имеем мезо-винную кислоту.

Все это трудно понять без точных структурных формул, которыми я не стану вас терзать. Главное помнить, что с 1874 года по сей день все вопросы оптической активности, даже самые сложные, удовлетворительно объяснялись при рассмотрении тетраэдрического углерода совместно с подобными структурами для других атомов. Хотя за прошедшее столетие наши знания об атомной структуре сильно расширились, геометрическая модель Вант-Гоффа осталась столь же полезной.

Статья Вант-Гоффа о тетраэдрическом атоме появилась в одном из голландских научных журналов в сентябре 1874 года. Два месяца спустя подобная статья была напечатана во французском журнале. Автором ее был двадцатисемилетний французский химик Жозеф Ашиль Ле Бель.

Оба молодых человека работали независимо друг от друга, так что заслуги обоих равны и обычно говорят о теории Вант-Гоффа — Ле Беля.

Химики не сразу одобрили идею тетраэдрического атома. В конце концов все еще не имелось никаких прямых доказательств существования атомов (и ничего подобного не предвиделось в обозримом

будущем). Так что для некоторых из более старых и консервативных химиков новая теория имела привкус мистицизма.

В 1877 году знаменитый пятидесятидевятилетний немецкий химик Герман Кольбе выступил с резкой критикой Вант-Гоффа и его теории. Упрекнуть Кольбе не в чем, ибо новая теория выходила далеко за рамки существовавшей тогда химии.

Действительно, в науке очень важно подвергать новые методы здоровой критике, ибо ценность новой идеи проверяется как раз ее способностью выдерживать тяжелые удары.

Однако критику Кольбе нельзя считать справедливой. Кольбе назвал Вант-Гоффа «совершенно неизвестным химиком», не имеющим никакого отношения к рассматриваемой проблеме. И что совсем непростительно, он высмеял Вант-Гоффа за то, что тот преподавал в Ветеринарной школе Утрехта, умудрившись трижды упомянуть об этом в короткой статье и проявив тем самым весьма непривлекательную профессорскую чванливость.

Тем не менее для тех, кто полагает, будто научные светила могут губить полезные начинания лишь силой своего авторитета, консерватизмом и чванливостью, следует заметить, что идея тетраэдрического атома была воспринята весьма активно. Она так хорошо работала, что ее не могли остановить никакие ядовитые выпады Кольбе, и карьера Вант-Гоффа не пострадала. (Наоборот, Вант-Гофф быстро стал одним из ведущих мировых специалистов в физической химии и в 1901 году, когда были учреждены Нобелевские премии, первым удостоился Нобелевской премии по химии.)

В наше время Кольбе больше всего известен не благодаря собственному вкладу в развитие химии, а из-за резкого выступления против Вант-Гоффа,

которое часто перепечатывают для развлечения читателей¹.

И опять прогресс вызвал новые проблемы. Как только была разработана структура атома углерода и его связей, а детали молекул описаны в трех измерениях, выявилась любопытная асимметрия в живой ткани. Это и будет темой следующей главы.

Глава 5

АСИММЕТРИЯ ЖИЗНИ

Только вчера (относительно дня написания этой главы) я участвовал в ток-шоу в Дейтоне, штат Огайо. Это одно из тех ток-шоу, где слушателей призывают звонить в студию и задавать вопросы.

Позвонила одна девушка и спросила: «Доктор Азимов, кто, по вашему мнению, внес самый большой вклад в современную научную фантастику?»

Слегка поколебавшись, я ответил: «Джон Вуд Кэмпбелл Младший».

И вдруг она воскликнула: «Отлично! Я — Леслин, его дочь».

Я внутренне похолодел, поскольку на мгновение промедлил с ответом, выбирая между двумя вариантами. Я мог ответить честно, что и сделал. Я сказал: «Кэмпбелл!» Или я мог пошутить, что мне свойственно, и сказать: «Я!» Если бы я видел

¹ Недавно мне предложили прорецензировать книгу, где была изложена странная теория, причем автор уверял, что хочет узнать мое мнение, *особенно* неблагоприятное, поскольку собирает коллекцию, которая в один прекрасный день станет очень занятой. Изложенная в книге теория показалось мне чепухой, но, помня о неудаче Кольбе, я колебался. А затем все же решил, что не стоит уклоняться от ответа из страха перед возможными насмешками потомков. Я счел теорию бесполезной и прямо об этом заявил. Однако я высказался вежливо. Вежливость ничего не стоит.

аудиторию и рассчитывал услышать смех, то безусловно склонился бы к шутке. А так, не полагаясь на мгновенную реакцию, я, слава богу, ответил честно и избежал неловкости.

В науке иногда представляется возможность выбора, и, что бы ученый ни выбрал, изменить потом ничего нельзя. Если он не угадал, ошибку невозможно стереть, и она будет преследовать его и после смерти.

Так, Бенджамин Франклин решил, что существует два сорта электрической жидкости, и одна из них подвижная, а другая — неподвижная. Если потереть некоторые вещества, то одни приобретают избыток (+) подвижной жидкости, а другие теряют подвижную жидкость и испытывают ее дефицит (-). Тело с дефицитом подвижной жидкости демонстрировало эффект избытка другой, неподвижной жидкости, так что мы могли бы сказать, что две субстанции (+) и (-) оказывают противоположные электрические эффекты.

Так оно и происходит. Если потереть янтарную и стеклянную палочку, они проявляют противоположные электрические свойства. (Будучи заряженными, они притягивают друг друга, а не отталкивают, как одноименные заряды — например, две стеклянные палочки.) Возник вопрос: у какой палочки избыток подвижного флюида, а у какой дефицит; какая палочка заряжена положительно, то есть (+), а какая — отрицательно, то есть (-)?

Определить это было абсолютно невозможно, и Франклину пришлось гадать. Он предположил, что янтарь обладает избытком флюида, и приписал ему (+), а стеклу приписал знак (-). Это определило критерии. Все другие заряды определялись согласно решению Франклина в ситуации янтарь против

стекла, и по сей день в электротехнике исходят из того, что ток течет от положительной клеммы к отрицательной.

По критерию, определенному Франклином, были приписаны заряды и первым двум фундаментальным субатомным частицам. Электрону, стремящемуся к положительному полюсу, приписали знак (-), а протону, притягивающемуся к электрону, знак (+). В некотором смысле они представляют два флюида (две жидкости) Франклина, но, поскольку электрон подвижен, а протон относительно неподвижен, ток в действительности течет от отрицательной клеммы к положительной.

На правильную догадку у Франклина были равные шансы, и он промахнулся. Очень жаль. К счастью, его промах не повлиял ни на развитие электротехнической практики, ни даже теории — по аккуратистов вроде меня это мелкое несоответствие раздражает.

Однако в данной главе мы мимоходом упомянем другой выбор при равных шансах и посмотрим на его последствия.

Опять нам придется обратиться к оптической изомерии, теме двух предыдущих глав. Вант-Гофф и Ле Бель доказали (как я объяснил в главе 4), что если четыре связи атома углерода присоединены к четырем различным атомам или группам атомов, то атом углерода «асимметричен». Четыре присоединенные группы могут быть представлены в двух возможных и существенно различных конфигурациях, одна из которых является зеркальным отображением другой.

Другими словами, вещество, содержащее асимметричный атом углерода, может быть «левосторонним» или «правосторонним».

Как можно ожидать, у природы нет каких-либо предпочтений в отношении левого и правого. Два вещества, различающиеся структурно и являющиеся левосторонним или правосторонним, имеют одинаковые химические и физические свойства и в асимметричных условиях ведут себя совершенно одинаково.

Мы могли бы провести аналогию с правой и левой рукой (или ногой, или глазом, или ноздрей, или верхним зубом-клыком). В каждом случае оба органа имеют идентичные признаки и функции. Что может делать один, то же может делать и другой, и обычно одним и тем же способом. Возможно, зеркальное отображение несовершенно. Правая и левая рука определенного индивидуума не имеют, например, зеркальных отпечатков пальцев. Большинство людей с большей легкостью используют одну из своих рук, но это происходит из-за неполной симметрии головного мозга.

Химические соединения, не такие сложные, как человеческая рука, проявляют зеркальную (право-левую) симметрию с большей точностью, чем руки. Что может сделать молекула-левша, то же самое и так же хорошо может сделать ее собрат-правша.

(Конечно, равная смесь правосторонних и левосторонних двойников может иметь свойства, отличные от тех свойств, что они имеют по отдельности, как в случае с виноградной и винной кислотой, описанных в предыдущей главе, но это другой вопрос. Пожатие правой и левой руки легко отличается от пожатия двух правых — или двух левых — рук по различному положению больших пальцев и, несомненно, функционирует иначе.)

Чтобы понять важность зеркальной симметрии, предположите, будто имеете молекулу, не содержащую асимметричного углерода, и подвергаете ее химическому изменению, в результате которого та-

ковой появляется. Тогда, если углерод присоединен abc и вы меняете один из присоединенных c на d , то получается $abcd$; симметричный углерод становится асимметричным.

Заменить d может любую из двух c . Если он заменит одну, получится левосторонняя молекула, а если заменит другую, то — правосторонняя. Шансы абсолютно равны; ни один результат не является предпочтительнее другого.

Следовательно, в любой подобной реакции получается почти в точности равное количество каждого сорта двойников. Любое отклонение от точного равенства (а некоторого отклонения следует ожидать в любом случайном процессе) будет неразличимо малым.

И не важно, что делают химики кроме введения некоего асимметричного фактора, все заканчивается симметрией. Кажется, не существует способа заставить Природу сделать право-левый выбор на молекулярном уровне.

Можно поступить и наоборот. Возьмите смесь, содержащую равное количество левосторонних и правосторонних молекул — зеркальных отображений, и подвергните эту смесь какому-нибудь физическому или химическому воздействию (не асимметричному), которое изменит молекулы. Измененные молекулы таковы, что их легко можно отделить от первоначальных. Если воздействие, каким бы оно ни было, разрушает левостороннюю молекулу чуть быстрее или легче, чем правостороннюю (или наоборот), по тому, что останется через некоторое время, мы отметим избыток молекул того или другого сорта. В конце концов смесь окажется, по меньшей мере, слегка асимметричной.

Но и этого никогда не происходит. Вы не можете создать молекулярную асимметрию из изначально симметричной ситуации.

До сих пор я старательно игнорировал асимметричные воздействия, но предположим, что мы решили прибегнуть к такому...

Пусть у вас имеется субстанция, состоящая из равных количеств двойников — зеркальных отображений; назовем их b и d , используя буквы — зеркальные отображения. Затем предположим, что у вас есть другое соединение, которое не содержит асимметричный атом углерода, так что его молекулы симметричны. Назовем его o , симметричной буквой. Если o соединяется с b и d , образуя дополнительное соединение, тогда получатся bo и od . Это все еще зеркальные отображения, и различить их невозможно.

С другой стороны, что случится, если у вас есть другое соединение, содержащее один или более асимметричных атомов углерода и потому существующее в право- и левосторонней формах, и у вас действительно есть *только* одна разновидность? Назовем его p .

Снова вы образуете дополнительное соединение и получаете bp и pd , которые *не* являются зеркальными отображениями. (Зеркальное отображение bp — qd , а не pd .) При разделении дополнительных соединений каждое распадается на b и p или p и d . От p легко избавиться, и остаются b и d в отдельных пробирках. У химика теперь имеются два соединения, каждое из которых асимметрично и оптически активно, и этот процесс называется «асимметричным синтезом».

Правда, у вас есть все основания поинтересоваться, а где химик для начала берет асимметричное p ? Если он может получить асимметричное соединение только в том случае, если с такового начинается, не кружит ли он на одном месте? Откуда *берется* первое асимметричное соединение?

На самом деле легко найти уже асимметричные соединения — но с важным ограничением. Им

можно найти только в связи с жизнью. Фактически асимметричные соединения существуют в природе *только* в живой ткани или в том, что когда-то было частью живой ткани.

В действительности мы можем пойти еще дальше. Существуют бесчисленные молекулы, содержащие один или более асимметричный атом углерода, которые следует искать в живой ткани. В каждом случае там найдется только одна из оптически активных пар. Если в живой ткани обнаруживается левостороннее соединение, то правостороннего зеркального отображения там нет; если в живой ткани найдено правостороннее соединение, то там *нет* левостороннего зеркального отображения¹.

Более того, выбор между одним двойником и другим не меняется от образца к образцу. Если левосторонний двойник предпочтителен в живой ткани любого одного вида, он предпочтителен во *всех* живых тканях *всех* видов. Вся земная жизнь пользуется лишь одной из любых молекул, способной существовать как двойники — зеркальные отображения, и всегда одной и той же.

(Между прочим, этим объясняется тот факт, что Пастер смог механически отделить компоненты — зеркальные отображения виноградной кислоты, как описано в предыдущей главе. Пастер в жизни сам был асимметричным.)

Возможно ли обнаружить некую регулярность существования двойников — зеркальных отображений в ткани? На первый взгляд вряд ли. Некоторые соединения в живых тканях правовращаю-

¹ Как ни странно, невозможные зеркальные отображения иногда *действительно* встречаются — в особых местах и в очень ограниченных количествах. Их весьма незначительное присутствие лишь подчеркивает общее правило.

щие, а другие — левовращающие, и как будто никакой регулярности не наблюдается. Например, рассмотрим два общеизвестных сахара в живой ткани: глюкозу и фруктозу. Оба состоят из одного и того же количества одних и тех же атомов и очень сходны по свойствам. Однако глюкоза правовращающая, а фруктоза левовращающая, то есть мы имеем *d*-глюкозу и *l*-фруктозу.

Поспешу заметить, что они вовсе не являются зеркальными отображениями. У каждой имеется свое зеркальное отображение: соответственно *l*-глюкоза и *d*-фруктоза, не встречающиеся в живой ткани.

С появлением в 1874 году теории Вант-Гоффа — Ле Беля стало возможным характеризовать двойники — зеркальные отображения не только оптическим вращением. Почему бы не определить истинную конфигурацию различных групп вокруг асимметричного атома углерода и посмотреть, не следует ли из этого какая-нибудь регулярность в соединениях, найденных в живых тканях?

Эти исследования провел немецкий химик Эмиль Фишер, занявшийся молекулами сахара в 1880-х годах. Из шести атомов углерода, входящих в молекулу глюкозы, не менее четырех асимметричны. Каждый из этой четверки может существовать как пара зеркальных отображений, так что возможны шестнадцать различных глюкозоподобных соединений, систематизированных в восемь пар зеркальных отображений.

Для простоты Фишер начал исследования с простейшего из возможных сахарных соединений — глицеральдегида, имеющего три углеродных атома, из коих только один асимметричен. Таким образом глицеральдегид существует только как пара двойников — зеркальных отображений: *d*-глицеральдегида и *l*-глицеральдегида.

Четыре различные группы вокруг единственного асимметричного атома углерода в глицеральдегиде можно организовать двойко. Какое расположение следует приписать *d*-двойнику, а какое — *l*-двойнику? У Фишера не было ответа на этот вопрос, так что пришлось гадать! Он совершенно произвольно приписал одно расположение *d*-глицеральдегиду, а другое — *l*-глицеральдегиду, установив этот критерий в опубликованной им статье в 1891 году.

(И только спустя ровно шестьдесят лет, в 1951 году, появилась возможность исследовать молекулы настолько детально, чтобы установить истинное расположение. Команда голландских исследователей под руководством М. Бийвет доказала, что предположение Фишера — не в пример предположению Франклина — было *правильным*.)

Конечно, Фишер на этом не остановился. Он начал очень тщательно строить более сложные молекулы сахара, в каждом случае отмечая, каким должно быть расположение атомов. И в каждом случае он смог убедительно доказать, что структурное расположение любого сложного сахара с более чем одним асимметричным атомом углерода подходит либо под стандарт *d*-глицеральдегида, либо под стандарт *l*-глицеральдегида. Раз расположение атомов в стандартных соединениях оказалось таким, как Фишер предполагал, то он смог определить расположение всех других. (Если бы его догадка оказалась неверной, тогда ему пришлось бы переменить расположение в каждой сахарной молекуле на его зеркальное отображение, однако, как в конце концов выяснилось, Фишер не ошибся.)

Фишер обнаружил, что, хотя *d*-глицеральдегид — правовращающий, некоторые из связанных с ним соединений структурно левовращающие. И направление оптического вращения невозможно пре-

дугадать исходя только из одной структуры. Поскольку для обозначения направления оптического вращения использовались строчные буквы, для указания родственных отношений стали использовать прописные буквы. При использовании прописной буквы направление вращения указывали (+) или (-), первое для правовращения, последнее — для левовращения.

Таким образом, глюкоза, обнаруженная в живой ткани, относится к *D*-глицеральдегиду и является правовращающей, ее называют *D*-(+)-глюкоза. Фруктоза, обнаруженная в живой ткани, также относится к *D*-глицеральдегиду и является левовращающей, а потому обозначается *D*-(-)-фруктоза.

А вот еще кое-что интересное. Все сахара, обнаруженные в живой ткани, независимо от того, в какую сторону они поворачивают плоскость поляризованного света, относятся к *D*-глицеральдегиду. Все они являются членами *D*-группы. Для большей драматичности скажем, что сахара жизни — все правосторонние¹.

Но почему?

Если уж мы возьмемся искать причину любой регулярности в структуре соединений в живой ткани, то придется обратиться к ферментам. Все соединения, синтезированные в живой ткани, синтезированы при посредничестве молекул ферментов, а все молекулы ферментов асимметричны.

Тогда мы должны спросить, какова же природа асимметрии ферментов.

Все молекулы ферментов являются белками (протеинами). Молекулы протеинов состоят из цепей аминокислот, которых насчитывается око-

¹ Маловажные исключения? Соединение, относящееся к *L*-(-)-глюкозе, обнаруженное в стрептомицине.

ло двадцати разновидностей. Все двадцать разновидностей близки по структуре. В каждом случае имеется центральный атом углерода, к которому присоединены: 1) атом водорода, 2) аминогруппа, 3) карбоксильная группа, 4) одна любая из двадцати различных групп, которые могут образовывать «боковые цепочки».

В случае простейшей аминокислоты — «глицина» — боковая цепочка — это еще один атом водорода, так что центральный атом углерода присоединен только к трем различным группам. По этой причине глицин не асимметричен и не оптически активен.

В случае всех других аминокислот боковая цепочка представляет четвертую отличающуюся группу, присоединенную к центральному атому углерода, из чего следует, что центральный атом углерода асимметричен и каждая аминокислота, кроме глицина, может существовать в двух формах, где одна является зеркальным отображением другой. В действительности каждая аминокислота существует в живой ткани только в одной из двух форм; и та же форма обнаруживается в каждом случае во всех живых тканях любого рода.

Но какая форма? Некоторые аминокислоты в форме, встречающейся в природе, правовращающие, а некоторые — левовращающие, но руководствоваться этим нельзя. Вы должны выяснить их структурную природу по отношению к глицеральдегидному стандарту.

Когда это сделано, оказывается — *без исключений*, — что все аминокислоты, встречающиеся в природе во всех живых тканях любого рода, входят в *L*-группу¹.

¹ Ну, почти все. В некоторых определенных местах, например в оболочках клеток некоторых бактерий, найдено несколько аминокислот, входящих в *D*-группу.

Таким образом мы можем исключить все вопросы типа почему эта форма сахара (или другого соединения), а не ее зеркальное отображение существует в ткани, и сосредоточиться на аминокислотах. Из них следует все остальное, и мы можем спросить: почему все аминокислоты относятся к *L*-группе?

Ответить на вопрос, почему все аминокислоты принадлежат к одной и той же группе, не сложно. Когда аминокислоты сцепляются, чтобы образовать молекулу белка, боковые цепочки выступают с одной или с другой стороны, и некоторые из них очень громоздки. Молекуле белка не хватает для них места.

Если бы цепь аминокислот состояла и из *L*-аминокислот, и из *D*-аминокислот, то за *L*-аминокислотой часто следовала бы *D*-аминокислота. В этом случае боковые цепочки выступали бы с одной и той же стороны и — во многих случаях — сильно мешали бы друг другу. Если бы, в другом случае, цепочка состояла только из *L*-аминокислот, то боковые цепочки выступали бы сперва с одной стороны, а затем с другой — поочередно. Тогда было бы больше свободного места, и молекула белка могла бы образоваться с большей легкостью.

Но то же самое было бы верно, если бы цепь состояла только из *D*-аминокислот. На самом деле нет оснований думать, что белки, состоящие только из *D*-аминокислот, каким-либо образом отличались бы по форме или функциям от ныне существующих; что организмы, созданные из таких *D*-белков, были бы в какой-то мере хуже имеющихся, что вся экология, основанная на *D*-организмах, была бы в любых отношениях менее жизнеспособна, чем система, существующая на Земле.

Тогда встает вопрос: почему одна предпочтительнее другой? Почему на Земле развилась *L*-экология, а не *D*-экология?

Простейшее из возможных объяснений (и потому единственно, по всей вероятности, истинное) — в чистейшей случайности.

В безжизненном протоокеане отдельные, более сложные молекулы стабильно строились из менее сложных предшественников благодаря таким источникам энергии, как ультрафиолетовое излучение Солнца. Среди этих строящихся молекул были *L*-аминокислоты и *D*-аминокислоты¹. Встречаясь, они образовывали цепи, причем легче такие цепи строятся, если все составляющие принадлежат к одной форме; так что могли существовать и *D*-цепи, и *L*-цепи.

В конце концов некоторые цепи становились достаточно сложными для того, чтобы иметь ферментные свойства и взаимодействовать, возможно, с нуклеиновыми кислотами, которые также формировались. (Нуклеиновые кислоты содержат в своих молекулах пятиуглеродные сахара, которые *всегда* относятся к *D*-ряду.) Возможно, по чистой случайности первой необходимой сложности достигла *L*-аминокислота и, в сочетании с нуклеиновой кислотой, начала множиться. (Жизнь характерна тем, что основана на свойстве молекул создавать собственные точные копии.)

Таким образом молекула простейшей жизни, используя в качестве модели самое себя, смогла образовать цепей *L*-аминокислот во много раз больше, чем позволила бы только случайность. *L*-экология, получив первую опору, упорно воспроизводила себя и не уступала. Выбор между *L* и *D*, видимо, состоялся в самом начале зарождения жизни.

Все могло случиться и совершенно по-иному, так что, если бы мы смогли изучить много подоб-

¹ Начиная с 1951 года химики пытались воссоздать зачаточные условия и создать таким образом аминокислоты, и всегда получались *D*- и *L*-формы в равных количествах.

ных Земле планет, на которых имеется жизнь, то, возможно, обнаружили бы, что половина из них имеет *D*-экологию, а половина — *L*-экологию.

Поскольку пища из *D*-организмов переваривалась бы и усваивалась бы с трудом, а то и вовсе не переварилась бы и не усваивалась такими *L*-организмами, как мы с вами, и это вызвало бы серьезные или даже губительные аллергические проявления, то исследование Галактики может оказаться очень опасным для человечества. Некая планета может оказаться истинным раем, но если ее формы жизни окажутся *D*-типа, то она будет непригодна для колонизации.

Однако так ли уж необходимо полагаться на чистую случайность? Существуют некоторые неживые источники асимметрии. Есть вид поляризованного света, называемый циркулярно поляризованным светом, который можно рассматривать или как левовинтовой, или как правовинтовой.

Особая разновидность такого света, будучи асимметричной, подействует на соединение — зеркальное отображение сильнее, чем на его двойника. Химик, начинающий работу с равной смесью двух зеркальных отображений, в итоге получит чуть больше вещества одного вида, чем другого. Он смог бы перейти от симметрии к асимметрии без вмешательства жизни. Правда, обычно он получает всего на 0,5 процента асимметрии больше, чем получил бы, начиная только с одной из разновидностей.

И все же можно представить источник циркулярно поляризованного света на Протоземле, скажем, получившегося при отражении солнечного света от поверхности океана. Этот свет мог бы сильнее подействовать на *D*-аминокислоты, чем на *L*-аминокислоты. *D*-аминокислоты тогда труднее создавались бы, а созданные легче разваливались

бы. В таком случае появился бы некий предопределенный уклон в пользу *L*-экологии.

Правда, подвох здесь в том, что нет видимых причин, почему циркулярно поляризованный свет должен формироваться левосторонним, а не правосторонним. Если он распределяется поровну между обеими возможностями, как следовало бы ожидать, то такого уклона не будет.

Однако внезапно обнаружилось нечто новое.

В 1968 году венгерский химик по фамилии Гайрей сообщил, что при бомбардировке раствора аминокислоты энергичными электронами, испускаемыми стронцием-90, раствор разлагался не на равные составные части. *D*-форма разлагалась заметно быстрее, чем *L*-форма.

Почему?

Одно из возможных объяснений: когда бета-частицы, проходя через раствор, замедляются, они испускают циркулярно поляризованные гамма-лучи. Если бы гамма-лучи создавались в равных количествах в левосторонней и правосторонней форме, это не имело бы значения. Но что происходит на самом деле?

Как я объяснял в главе 2, закон четности нарушается в слабых взаимодействиях, а именно в них задействован электрон. Нарушение закона означает, что электрон *не* симметричен относительно правого и левого. Он, так сказать, левовинтовой. Соответственно, гамма-лучи, им созданные, циркулярно поляризованы левосторонне, а это значит, что *D*-аминокислоты труднее образуются, а образованные легче разрушаются.

Следовательно, из-за несохранения четности в отношении оптических изомеров существует «врожденное» предпочтение. В любой галактике (или вселенной), созданной из вещества, в котором доминируют электроны и протоны, мы можем

ожидать на имеющих жизнь планетах некоторого преобладания *L*-экологий.

С другой стороны, в любой галактике (или вселенной), созданной из антивещества, в которой доминируют позитроны и антипротоны, мы можем ожидать на имеющих жизнь планетах преобладания *D*-экологий.

Конечно, эта теоретически допущенная связь между несохранением четности и асимметрией жизни пока еще слишком гипотетична, но мне она эмоционально близка. Я твердо верю в то, что все во Вселенной взаимосвязано, что знание едино, и я считаю бесконечно правильным то, что нарушение закона четности, которое кажется столь абстрактным, служит объяснению фундаментальных проблем жизни, касающихся человечества, вас и меня.

Часть вторая

ПРОБЛЕМА ОКЕАНОВ

Глава 6

ТАЛАССОГЕНЫ

Приемы, на которых подают коктейли и другие напитки с легкой закуской, пробуждают во мне все самое худшее, ибо сам я не пью.

Поймите, для меня это не вопрос нравственности. Просто я не люблю вкус алкоголя, и даже самые маленькие его количества вызывают у меня аллергию: кожа покрывается пятнами, и я начинаю задыхаться. В любом случае, даже не выпив ни капли, я могу веселиться так же бурно, как и все остальные, зато после — никакого похмелья.

Единственная неприятность: окружающие не желают оставлять меня в покое. Они толпятся вокруг и спрашивают в пятнадцатый раз: «Ты уверен, что не хочешь чего-нибудь выпить?»

Более того, испытывая жажду, я подкрадываюсь к бармену и, убедившись, что никто не подслушивает, громким шепотом прошу немного воды.

Сначала мне приходится убеждать его, что я действительно хочу воды. Затем мне приходится убеждать его, что мне нужен большой стакан воды без льда. Обычно я проигрываю этот бой. Не слушая меня, бармен хватает бокал и подает мне воду со льдом, и воды там не больше пяти кубических

сантиметров. А потом я грустно бренчу кубиками льда, надеясь, что они когда-нибудь растают.

Неудивительно, что я начинаю злиться. На последней вечеринке один из гостей яростно выступал против марихуаны.

— Девяносто процентов потребителей героина, — вещал он, — начинали с марихуаны.

На самом деле я был с ним согласен, ведь я противник наркотиков, но, глядя на бокал в его руках, я спросил:

— Вы пьете только на приемах?

— Естественно, — ответил он.

— Ну, — сказал я, — каждый алкоголик, когда-либо живший на этом свете, начинал с выпивки в компании.

В любом случае в воде нет ничего плохого. Это великолепный напиток и к тому же очень необычное вещество.

Например, общеизвестно, что шесть самых распространенных во Вселенной элементов — это водород, гелий, кислород, неон, азот и углерод, именно в таком порядке. Из каждых 10 000 атомов во Вселенной около 9200 — атомы водорода, 790 — гелия, 5 — кислорода, 2 — неона, 2 — азота и 1 — углерода. Всех остальных атомов ничтожно мало, и во многих случаях их можно просто игнорировать.

Познакомившись с этой информацией, мы можем спросить себя, какое же соединение (то есть вещество с молекулой, состоящей из двух или более разных видов атомов) является самым распространенным во Вселенной. Само собой разумеется, что самое распространенное соединение должно иметь маленькую, очень стабильную молекулу, состоящую из атомов двух самых распространенных элементов.

Поскольку атомы гелия не формируют никакие молекулы, самыми распространенными во Вселен-

ной элементами, образующими соединения, остаются водород и кислород. По одному атому каждого из них могут соединиться в «гидроксил» (ОН), обнаруженный в межзвездном пространстве нашей Галактики и по меньшей мере еще в одной. Гидроксил может существовать только в разреженном пространстве, таком как космос. Два атома водорода и один атом кислорода образуют воду (H_2O), а она может существовать в планетарных плотностях и, несомненно, является самым распространенным во Вселенной таким соединением.

Естественно, вода не везде широко распространена. Конечно, она вовсе не может существовать на любой нормальной звезде. При звездных температурах ее молекула расщепляется. На слишком маленьких космических телах планетарного типа слишком слаба гравитационная сила, и они не могут удерживать очень легкие и летучие молекулы.

Химические силы могли бы удержать какое-то количество молекул на каменистой поверхности планеты, но в процентном отношении этих молекул было бы очень мало. Неудивительно, что Луна, Марс и, безусловно, Меркурий относительно сухие тела.

На планетах-гигантах, таких как Юпитер и Сатурн, где очень сильное гравитационное поле и низкая температура, наиболее распространенных во Вселенной элементов гораздо больше, и, конечно, вода является в таких мирах самым распространенным соединением.

Земля занимает промежуточное положение. Она мала и тепла настолько, что потеряла большую часть воды, которой, возможно, обладала вначале. Более вероятно, что ей вообще не удалось собрать большую часть воды из клубящегося облака пыли и газа, из которого сформировалась планета. И несмотря на все это, воды на Земле более чем достаточно.

На самом деле земная вода абсолютно уникальна в двух отношениях. Во-первых, вода самая распространенная жидкость на Земле, и ее *гораздо* больше любых других жидкостей. Действительно, это единственная жидкость, присутствующая на Земле в избытке. (Какая на втором месте? Может быть, нефть.)

Во-вторых, это единственное вещество, присутствующее на Земле в избытке во всех трех фазах: твердой, жидкой и газообразной. Земля обладает не только полным водным океаном, но и полярными шапками льда в мили толщиной, а водяной пар составляет основную (правда, переменную) часть атмосферы.

Тогда, уважаемые читатели, встает вопрос: может ли какое-либо вещество заменить воду? Может ли планета существовать с океаном любого другого вещества?

Чтобы ответить на этот вопрос, рассмотрим следующие условия:

1) Океанское вещество должно быть в избытке представлено в смеси веществ Вселенной. Мы можем вообразить океаны жидкой ртути, или жидкого фтора, или жидкого тетраоксида углерода, но мы не можем реально представить себе какую-либо планету, где эти вещества присутствовали бы в количествах, достаточных для заполнения океанов.

2) Океанское вещество должно иметь достаточно большую жидкую фазу. Например, марсианские полярные шапки являются замерзшей двуокисью углерода, но при существующем на Марсе давлении двуокись углерода не может находиться в жидком состоянии. Твердая двуокись углерода напрямую испаряется в газ, поэтому даже при достаточном ее количестве невозможен океан двуокиси углерода.

3) В идеале нам нужно вещество, чья жидкая фаза могла бы достаточно легко трансформироваться либо в твердое, либо в газообразное состояние. Только в таком случае земной океан вызвал бы ледовые шапки, облака, дождь и снег. Таким образом океан жидкого гелия при температурах кипения воды, например, мог бы с легкостью создать гелиевые «ледяные шапки», но при такой температуре давление испарения гелия было бы столь низким, что в воздухе не было бы ни стоящего упоминания количества гелиевого пара, ни гелиевых облаков, ни гелиевого дождя. С другой стороны, если бы у нас был океан жидкого гелия при температуре 2 градуса выше абсолютного нуля (то есть 2°K), то в атмосфере присутствовало бы много гелиевого пара (на самом деле из него состояла бы почти вся атмосфера) и были бы обычными гелиевые дожди, но не было бы гелиевого льда или снега, поскольку твердый гелий не образуется даже при температуре абсолютного нуля, разве что при огромном давлении, и трудно представить планету с достаточным для этого атмосферным давлением при 2°K .

Начнем рассмотрение с первого условия — присутствия вещества в океанских количествах. Для этого лучше всего обратиться только к главным шести элементам: водороду, гелию, кислороду, неону, азоту и углероду. Любое вещество, состоящее из чего угодно, кроме этих шести элементов (одного или в комбинации), может иметь множество достоинств, но не будет присутствовать в достаточных количествах, чтобы полностью или почти полностью заполнить океан¹.

¹ На планете, подобной Земле, есть только одно возможное исключение. Двуокись кремния присутствует в океанских количествах, но она твердая и может перейти в жидкое состояние только при сильном нагревании. Вычеркиваем двуокись кремния.

Из этих шести элементов два, гелий и неон, могут существовать только в элементарном состоянии. Третий, водород, может образовывать соединения, но существует в таких подавляющих количествах, что на любой планете, имеющей хотя бы чуточку его (например, на Юпитере), он должен существовать в основном в элементарной форме хотя бы потому, что там нет достаточного количества других элементов, с которыми он мог бы соединиться.

Что касается кислорода, азота и углерода, то они, в присутствии преобладающего водорода, будут существовать только в комбинациях с максимально возможным количеством водорода. Кислород будет существовать как вода (H_2O); азот как аммиак (NH_3) и углерод как метан (CH_4).

И мы получаем наш список из шести возможных талассогенов¹: водород, гелий, вода, неон, аммиак и метан — в порядке убывания их количества.

Следующий шаг: рассмотрим каждое из этих веществ в связи с его жидкой фазой. При нормальных давлениях, эквивалентных производимым земной атмосферой, каждое из них имеет определенную температуру кипения, выше которой существует только в газообразном состоянии. Температуру кипения можно повысить, повышая давление, но проигнорируем это осложнение и рассмотрим температуру кипения в градусах выше абсолютного нуля при нормальном давлении.

Температуры кипения гелия, водорода и неона соответственно 4,2 °К, 20,3 °К и 27,3 °К.

Отметим, что температура на поверхности даже отдаленного Плутона грубо оценивается в 60 °К. На самом деле интересно, действительно ли на любой

¹ Это слово я только что придумал, сложив его из греческих слов («производящие море»), и я расшифровываю его как «вещество, способное сформировать планетарный океан».

достаточно большой планете, такой как внешние члены нашей Солнечной системы, могут быть чрезвычайно низкие температуры. Внутреннего тепла, порожденного радиоактивностью, должно быть достаточно, чтобы поддерживать температуры на поверхности хотя бы на уровне температуры Плутона даже при полном отсутствии солнечной энергии. (Юпитер, например, согласно последним отчетам, излучает в три-четыре раза больше тепла, чем получает от Солнца.)

Короче говоря, на любой планете, которую мы можем себе представить, температура должна быть слишком высокой для существования в больших количествах жидких гелия, водорода или неона. Вычеркнем их из нашего списка и останемся всего лишь с тремя талассогенами: метаном, аммиаком и водой.

И каковы же их температуры кипения? Ну, соответственно 111,7 °К, 239,8 °К и 373,2 °К.

Рассматривая эту тройцу, мы приходим к следующим выводам:

1) Вода — самое распространенное и потому самое вероятное вещество для образования океана.

2) Поскольку метан существует в жидком состоянии в температурном диапазоне в 23°, аммиак — в диапазоне в 44° и вода — в диапазоне 100°, вода — из этих трех — имеет самый широкий температурный диапазон для жидкой фазы и в своей склонности создавать океан по меньшей мере чувствительна к температурным девиациям.

3) И самое важное: вода создает свои океаны при более высокой температуре, чем два других вещества. Вы можете представить метановые океаны на такой планете, как Нептун, или аммиачные океаны на планете типа Юпитера, однако вода, и *только* вода может создать океан на внутренней планете вроде Земли.

Ну, тогда получается, что существование нашего океана и, следовательно, существование жизни зависят от того факта, что вода случайно имеет жидкую фазу при гораздо более высокой температуре, чем любой из других возможных талассогенов. Случайность ли это, вроде направления отскока мяча, или из строения молекулы воды можно выжать нечто интересное?

Давайте посмотрим...

Когда атомы соединяются, чтобы создать молекулы, связь между ними образуется в ходе процесса, похожего на перетягивание каната между их внешними электронами. Во многих случаях один тип атома способен ухватить на один или два электрона больше, чем имеет в нормальных условиях, и ухватится за них при малейшей возможности. Поскольку сам атом электрически нейтрален (положительные заряды в ядре уравнивают отрицательные заряды оболочки) и поскольку каждый электрон имеет отрицательный заряд, атом, способный удержать один или более лишней электрон, несет суммарный отрицательный заряд. Элементы, состоящие из способных на подобное атомов, называются электроотрицательными.

Самый электроотрицательный элемент — фтор. За ним следуют кислород, азот, хлор и бром. Это единственные сильно электроотрицательные элементы.

С другой стороны, некоторые атомы не обладают столь выраженной способностью захватывать дополнительные электроны. Вообще-то им трудно удерживать даже собственные электроны, и они склонны отдавать один или два из них, что и делают при малейшей возможности. Потеряв такие отрицательно заряженные электроны, атом остается с суммарным положительным зарядом. Такие атомы называют электроположительными.

Большинство элементов склонны к электрической положительности. Самыми электроположительными элементами являются щелочные металлы, из которых наиболее типичные — натрий и калий. Кальций, магний, алюминий и цинк — также сильно электроположительные элементы.

Когда такой электроположительный элемент, как натрий, встречает такой электроотрицательный элемент, как хлор, атом натрия легко отдает один электрон, который атом хлора так же легко принимает. Получаются атом натрия с положительным зарядом (ион натрия) и атом хлора с отрицательным зарядом (ион хлора). Притяжение между двумя ионами обусловлено мощной электромагнитной силой, называемой «электровалентностью». Вокруг каждого иона натрия толпится некоторое количество ионов хлора, а вокруг каждого иона хлора толпится некоторое количество ионов натрия. В результате получается сложный и очень упорядоченный строй ионов, крепко цепляющихся друг за друга.

Самый простой способ оторвать ионы друг от друга — нагреть вещество. Все ионы, как бы сильно они ни удерживались на месте неким притяжением, участвуют в колебательном движении. Это колебание связано с температурой. Чем выше температура, тем энергичнее колебания. Если температура достаточно высока, энергии колебаний хватает на то, чтобы оторвать ионы друг от друга, какой бы мощной ни была электромагнитная сила, удерживающая их вместе, и тогда вещество плавится. (В жидкой фазе ионы больше не удерживаются строго на месте и движутся свободно.)

Тем не менее температура, по привычным меркам, должна быть весьма высокой, чтобы преодолеть сильные связи между ионами натрия и ионами хлора. Хлористый натрий (обычная поваренная

соль) имеет сравнительно высокую температуру плавления — $1074\text{ }^{\circ}\text{K}$. (Для сравнения: в чудесный весенний день температура $70\text{ }^{\circ}\text{F}$ ($21\text{ }^{\circ}\text{C}$) — $294\text{ }^{\circ}\text{K}$.)

Еще более высокие температуры требуются, чтобы оторвать друг от друга ионы и послать их парочками (один ион натрия и один ион хлора) в совершенно независимое друг от друга состояние газовой фазы, поскольку температура кипения хлористого натрия — $1686\text{ }^{\circ}\text{K}$.

Эти рассуждения более-менее правомерны для всех электровалентных соединений, образующихся с помощью перехода одного или более электронов от одного атома к другому. Температура плавления оксида молибдена — $2893\text{ }^{\circ}\text{K}$ и температура кипения — $5070\text{ }^{\circ}\text{K}$.

А что случается, когда один электроположительный элемент встречается с другим? Например, атомы натрия могут образовывать связи между собой, отпуская по одному своему наиболее удаленному от центра электрону (который они притягивают очень слабо) и обладая этими электронами совместно. Такая ситуация более стабильна, чем та, в которой каждый атом отвечает только за свой собственный внешний электрон, как в газообразном натрии. В результате атомы натрия сцепляются, и натрий при нормальных температурах остается твердым. Несомненно, растащить атомы нетрудно, и натрий плавится при температуре $370\text{ }^{\circ}\text{K}$, чуть меньшей, чем температура кипения воды. Правда, натрий не кипит и достигает полной атомной независимости к $1153\text{ }^{\circ}\text{K}$.

(Эти наиболее удаленные электроны свободно блуждают от атома к атому. Их существование обусловлено тем, что натрий в частности и металлы вообще проводят тепло и электричество гораздо лучше неметаллов.)

Металлы, состоящие из менее электроположительных атомов, сцепляются более тесно, и некоторые из них в конце концов формируют связи, такие же прочные, как и любое электровалентное соединение. Температура плавления металла вольфрама — 3640 °К, а температура кипения — 6150 °К.

И все же, хотя атомы металлов хорошо подогнаны друг к другу, они более склонны передавать электроны электроотрицательным атомам, особенно кислороду, самому распространенному из всех сильно электроотрицательных элементов. По этой причине в земной коре практически нет свободных металлов¹.

Тогда, как правило, мы можем сказать, что металлы и электровалентные соединения имеют такую высокую температуру плавления, что ни при каких нормальных температурах планет, включая Меркурий, не имеют ни шанса на жидкую фазу. Те немногие, что могли бы (как натрий или тетрахлорид олова), пожалуй, не могут присутствовать в количествах достаточно больших для образования океана.

Значит, мы должны искать что-то еще. Что происходит, когда электроотрицательный атом встречается с другим? Что происходит, когда, например, один атом фтора встречается с другим? Каждый из атомов фтора может справиться с количеством электронов на один больше своего обычного набора, но ни один из них не отдаст один из своих собственных электронов, чтобы удовлетворить другой. На самом деле получается так, что каждый атом предоставляет другому долю в одном из своих электро-

¹ Земля имеет металлическую сердцевину, потому что содержит так много железа, что просто не хватает электроотрицательных атомов. Избыток металлов плотнее, чем кислородсодержащие электровалентные соединения, собравшиеся к центру Земли в дни, когда планета была юной и мягкой.

нов. Появляется двухэлектронный общий фонд, в который каждый делает вклад и в котором имеет свою долю. И тогда удовлетворены оба атома фтора.

Правда, для существования этого фонда два атома фтора должны находиться очень близко! Чтобы растащить эти два атома, требуется очень большое усилие, ибо приходится разрывать двухэлектронную связь. Следовательно, при обычных условиях фтор в элементарной форме существует в молекулах, созданных из атомных пар (F_2). Даже только для того, чтобы начать разрыв молекулы фтора и растаскивание отдельных атомов, температура должна значительно превысить $1300^\circ K$. Взаимопритяжение атомов, осуществляемое общими электронами, называется ковалентной связью.

У двух атомов фтора, образовавших свой двухэлектронный фонд, нет причин делиться электронами с любыми другими атомами, тем более передавать им электроны или получать электроны от них. Двухэлектронный фонд полностью удовлетворяет их электронные нужды. В результате, когда одна молекула фтора встречается с другой молекулой фтора, они отскакивают друг от друга, почти не выказывая склонности держаться вместе.

Если бы такой склонности не было вовсе, молекула фтора осталась бы независимой от своих соседей, как бы низко ни упала температура. Молекулы двигались бы все медленнее и медленнее, отскакивали бы друг от друга все слабее, но никогда не сцеплялись бы.

Однако существуют силы Ван дер Ваальса, названные так в честь голландского химика, впервые их изучившего. Не вдаваясь в детали, мы можем просто сказать, что между атомами и молекулами существуют слабые силы притяжения даже тогда, когда никакие электроны не передаются и не распределяются.

Благодаря силам Ван дер Ваальса, молекулы фтора слегка «липкие», и, если температура значительно понизится, энергии, позволяющей им двигаться, не хватит, чтобы оторвать их друг от друга после столкновения. Фтор сконденсируется в жидкость.

Температура кипения жидкого фтора — $85\text{ }^\circ\text{K}$. Если температура упадет еще ниже, молекулы фтора выстроятся в строгом порядке, и фтор станет твердым телом. Точка плавления твердого фтора — $50\text{ }^\circ\text{K}$.

То же самое случается с другими электроотрицательными элементами. Хлор, кислород и азот также формируют электронные фонды между двумя атомами. Следовательно, мы имеем молекулы хлора, молекулы кислорода и молекулы азота, состоящие из атомных пар (Cl_2 , O_2 и N_2). Даже атомы водорода, не отличающиеся особой электроотрицательностью, формируют молекулы парами (H_2).

В каждом случае температуры плавления и кипения низки и зависят от интенсивности сил Ван дер Ваальса. Водород, с его очень маленькими атомами, имеет жидкую фазу в значительно более низком температурном диапазоне, чем фтор. Температура кипения жидкого водорода — $21\text{ }^\circ\text{K}$, а температура замерзания твердого водорода — $14\text{ }^\circ\text{K}$.

Незначительное количество разновидностей атома обладает достаточным числом электронов. Они мало стремятся отдавать свои электроны и еще меньше — принимать дополнительные электроны извне. То есть они не склонны образовывать соединения. Это так называемые инертные газы.

Их всего шесть, и три из них — с самыми большими атомами — могут образовывать соединения (не очень стабильные) с самыми электроотрицательными элементами, такими как фтор и кислород. Троица с самыми маленькими атомами — ар-

гон, неон и гелий (в порядке уменьшения размера) — не делает и этого при любых условиях, до сих пор обнаруженных. Не формируют они и электронные фонды между собой, оставаясь в гордом одиночестве отдельными атомами.

Однако и они испытывают взаимное притяжение сил Ван дер Ваальса и при достаточном охлаждении становятся жидкостями. Чем меньше атом, тем меньше силы, а чем сильнее охлаждение, тем возможнее переход в жидкое состояние.

Гелий, имеющий самые маленькие атомы из всех инертных газов, испытывает такое маленькое взаимное притяжение, что из всех веществ его труднее всего превратить в жидкость. Температура кипения жидкого гелия феноменально низка — всего лишь $4,2\text{ }^{\circ}\text{K}$. Твердого гелия вовсе не существует даже при $0\text{ }^{\circ}\text{K}$ (абсолютном нуле), разве что при значительном давлении.

Газообразные вещества, которые я до сих пор рассматривал, ковалентные и жидкие при очень низких температурах, элементарны, то есть существуют либо в виде отдельных атомов, как гелий, либо в виде отдельных двухатомных молекул, как водород.

Могут ли молекулы из двух разных атомов быть ковалентными в природе, а составленные из них вещества иметь низкие температуры плавления и кипения? Да!

Рассмотрим углерод. Атом углерода не является ни сильно электроположительным, ни сильно электроотрицательным. Он имеет тенденцию создавать двухэлектронные фонды с каждым из четырех других атомов. Он мог бы создавать эти фонды с четырьмя другими атомами углерода, каждый из которых может создавать фонды с тремя другими, и так до бесконечности. В конце концов бесчисленные триллионы атомов углерода могут крепко сце-

питься посредством сильных ковалентных связей. В результате углерод имеет самую высокую среди любых других известных веществ температуру плавления — около $4000\text{ }^\circ\text{K}$.

Однако атом углерода может создать двухэлектронный фонд с каждым из четырех различных атомов водорода. Атомы водорода могут создавать только по одному двухэлектронному фонду каждый, и на этом все заканчивается. Вся молекула состоит из атома углерода, окруженного четырьмя атомами водорода (CH_4), и это метан.

Молекулы метана слабо притягиваются друг к другу, и только за счет слабых сил Ван дер Ваальса. Температура кипения жидкого метана — $112\text{ }^\circ\text{K}$, а температура плавления твердого метана — $89\text{ }^\circ\text{K}$.

Подобным образом атом углерода может образовать молекулу с одним атомом кислорода, и это будет монооксид углерода (CO). Его температуры кипения и плавления соответственно $83\text{ }^\circ\text{K}$ и $67\text{ }^\circ\text{K}$.

Теперь мы можем сделать общий вывод. В отличие от металлов и электровалентных соединений ковалентные соединения имеют низкие температуры плавления и кипения, и только они, вероятно, могут быть талассогенами при приемлемых планетарных температурах.

Это дает нам ответ на наш первый вопрос — почему вода вообще является талассогеном? Это по существу ковалентное соединение. Отлично, есть с чего начинать. Однако имеется так много жидких при очень низких температурах ковалентных соединений, подходящих для планетарных целей, особенно для земных целей. Почему же тогда жидкая вода такая теплая?

Одна возможность кроется в том, что, в общем, чем больше ковалентный атом или молекула, тем

сильнее силы Ван дер Ваальса и выше температура кипения вещества. Рассмотрим следующую таблицу, в которой размер молекулы измеряется ее молекулярной массой (или, в случае гелия и неона, атомной массой).

Таблица эта несовершенна, ибо гелий, имеющий большую атомную массу, чем молекулярная масса кислорода, тем не менее имеет температуру кипения более низкую, чем у водорода. Да и фтор, молекула которого больше молекулы кислорода, тем не менее кипит при более низкой температуре. И все же эта таблица показывает, что в случае ковалентных соединений существует грубая зависимость между молекулярной массой и температурой кипения.

Вещество	Атомная масса или молекулярная масса	Температура кипения (°K)
Водород (H ₂)	2	17
Гелий (He)	4	4
Неон (Ne)	20	27
Азот (N ₂)	28	77
Моноксид углерода (CO)	28	83
Кислород (O ₂)	32	90
Фтор (F ₂)	38	85
Дифторид кислорода (F ₂ O)	54	138
Фтористый азот (NF ₃)	71	153
Хлор (Cl ₂)	71	239
Пентан (C ₅ H ₁₂)	72	309
Хлорный ангидрид (Cl ₂ O ₇) ¹	183	355

Таким образом мы можем сделать вывод, что вода, имеющая температуру кипения 373 °K, дол-

¹ Хлорный ангидрид — оксид хлора, гептооксид хлора. (Примеч. пер.)

жна иметь несколько большую молекулярную массу или, по крайней мере, ненамного меньшую, чем хлорный ангидрид. Скажем, ее молекулярная масса должна быть как минимум 180.

Но это не так. Молекулярная масса воды — 18, всего одна десятая того, что «должно» быть.

Очевидно, что-то здесь ужасно неправильно — или, может быть, правильно, ибо, что бы ни было причиной этой аномалии, именно ей мы обязаны нашим дарующим жизнь океаном. В чем может состоять эта неправильность/правильность, мы обсудим в следующей главе.

Глава 7

ГОРЯЧАЯ ВОДА

Одной из опасностей, связанных с популяризацией научного взгляда на Вселенную для широкой публики, является случающееся время от времени столкновение с читателями, предпочитающими не научную, а некую разновидность религиозной точки зрения на Вселенную. Низведение причины чудесного феномена с Бога до неясного последствия некоего физического или химического «закона» оскорбляет их, и они очень часто обвиняют популяризатора в атеизме.

Вот только вчера я получил письмо от одной дамы. Письмо начиналось с официального обращения «Дорогой сэръ», а затем следовало более резкое продолжение: «Согласно Священному Писанию и пользуясь языком Священного Писания, вы — глупец». (В Псалтыре — «безумец». — *Примеч. пер.*)

Естественно, я огорчился, поскольку, чувствуя себя (иногда) глупцом, как любой другой, терпеть не могу, когда меня так называют. Кроме того, это обвинение выходило далеко за рамки просто глуп-

пости. Дама явно ссылалась на определенную широко известную цитату из Библии...

Среди ста пятидесяти псалмов Псалтыря есть два — четырнадцатый и пятьдесят третий (в русском Псалтыре 13 и 52. — *Примеч. пер.*), практически идентичные, и первый стих каждого начинается: «Сказал безумец в сердце своем: «нет Бога».

Что мне было делать? Я решил в ответ тоже сослаться на Священное Писание и послал милой даме короткую записочку:

«...а кто скажет: «безумный», подлежит геенне огненной» (От Матфея, 5: 22)»¹.

Но, увы, разобравшись с одним корреспондентом, теперь я должен рискнуть и, может быть, оскорбить некоторых других. Ибо, как вы видите, вода обладает изумительными свойствами, словно специально предназначенными для жизни. Было бы так лицемерно считать ее творением великодушно-го и гениального Создателя, сотворившего Вселенную ради блага недостойного Человека, и так прозаично низвести ее до равнодушных свойств атомов.

И все же я вынужден сделать последнее, поскольку предан научному взгляду на Вселенную (а верующие вполне могут представить, что эти равнодушные свойства атомов созданы Богом).

В предыдущей главе я отмечал, что вода — единственно возможный талассоген для планеты с температурой Земли, единственное соединение, пожалуй, способное существовать в жидкой фазе в достаточном для образования океана количестве.

Чтобы быть жидкостью при относительно низких земных температурах (как я объяснял), вещество должно состоять из ковалентных молекул, то

¹ Цитата, напоминаю, из Нагорной проповеди.

есть из молекул, в которых пары соседних атомов более-менее по-соседски делятся электронами, а не переносят от атома к атому один или более электронов.

Обычно чем больше молекулярная масса ковалентного соединения, тем выше температурный диапазон его жидкой фазы. С этой точки зрения можно ожидать, что молекулярная масса вещества, являющегося жидкостью при температурах воды, равна примерно 180. Однако, как я отмечал выше, молекулярная масса воды — 18, всего одна десятая того, что «должно» было бы быть. Относительно молекулярной массы жидкая вода удивительно теплая — это в самом деле «горячая вода».

Но почему? Может быть, связывая температуры жидкой фазы только с молекулярной массой, мы слишком упрощаем ситуацию?

В конце предыдущей главы я перечислил молекулярные массы и температуры кипения, не пытаюсь в них разобраться. Возможно, это несправедливо, ибо вещества созданы из разных элементов и сильно различаются по химическим и физическим свойствам. Однако элементы существуют семействами, и внутри этих семейств их члены весьма похожи. Может быть, лучший способ — выбрать членов одного семейства и посмотреть, какие закономерности можно там найти.

Например, рассмотрим шесть элементов семейства инертных газов: их атомные массы и температуры кипения.

Здесь мы наблюдаем плавное повышение температуры кипения с возрастанием атомной массы, чего и следовало ожидать при самом простом подходе к ситуации. В конце концов, с увеличением веса атомам требуется больше энергии в виде тепла, чтобы оторваться друг от друга и подняться по отдельности в пар.

Таблица 1

Элемент	Атомная масса	Температура кипения (°К) ¹
Гелий (He)	4,0	4,2
Неон (Ne)	20,2	27,2
Аргон (Ar)	39,9	87,4
Криптон (Kr)	83,8	120,2
Ксенон (Xe)	131,3	166,0
Радон (Rn)	222,0	211,3

Что, если мы переключимся на четыре элемента другого семейства — галогенов, семейства, так же четко определенного, как и семейство инертных газов (см. таблицу 2). И здесь температура кипения плавно повышается с ростом атомной массы. Существует пятый галоген, последний в группе, — аstat. Это радиоактивный элемент, и даже его самый долгоживущий изотоп (с атомной массой 210) имеет период полураспада всего 8,3 часа. Он до сих пор не получен в количествах достаточных для точного определения температуры кипения, но я готов держать пари на весьма значительную сумму, что его температура кипения где-то в районе 570 °К.

Таблица 2

Элемент	Атомная масса	Температура кипения (°К) ¹
Фтор (F)	19,0	85,0
Хлор (Cl)	35,5	238,5
Бром (Br)	79,9	331,9
Йод (I)	126,9	457,5

¹ «°К» представляет абсолютную шкалу температур с нулевой температурой (абсолютным нулем) при $-273,16$ °С.

Внутри семейства элементов прогрессия плавная, но посмотрим, что происходит, когда мы пересекаем границу. Сравните таблицы 1 и 2. Неон и фтор не очень сильно различаются по атомной массе, но фтор кипит при температуре в три раза большей, чем неон. И так по всей таблице; каждый галоген имеет температуру кипения в три раза большую, чем инертный газ со сходной атомной массой.

Может быть, атомная масса не единственный решающий фактор? Ну конечно же. Есть и другие важные свойства. Атомы инертного газа химически инертны и не соединяются друг с другом, оставаясь отдельными атомами. С другой стороны, атомы галогена — из-за характерного электронного расположения (отличного от расположения атомов инертного газа) — объединяются в парочки. Фтор состоит не из отдельных атомов, как неон, а из пар атомов. Химическая формула фтора — F_2 , и его молекулярная масса равна 38,0. Чтобы определить энергию, необходимую для разделения фундаментальных частиц жидкости фтора в газообразное состояние, следует учесть вес молекулы, а не атома. Молекулярная масса фтора примерно равна атомной массе аргона и, следовательно, температура кипения фтора примерно равна температуре кипения аргона.

Если бы можно было на этом остановиться, мы выявили бы строгую зависимость между размером частицы (либо атома, либо молекулы) и температурой кипения. Однако в науке не принято останавливаться, когда вы находите желаемый ответ. Приходится рисковать и идти дальше и пытаться опровергнуть собственные предположения.

Это не трудно. Атомы хлора также объединяются в пары, и химическая формула хлора — Cl_2 , а его молекулярная масса — 71. Это значительно меньше, чем атомная масса криптона, но у хлора темпе-

ратура кипения ровно в два раза больше, чем у криптона.

Следовательно, при построении наших теорий лучше не пересекать границы между семействами. До конца этой статьи я буду придерживаться семейств, и только аномалии внутри этих групп привлекут наше внимание.

Теперь давайте посмотрим, только ли температуры кипения плавно изменяются с изменением атомной (или молекулярной) массы? Является ли зависимость всегда прямой, то есть растет ли интересующая нас величина с увеличением массы? Рассмотрим третье четко различимое семейство — щелочных металлов, и на этот раз поинтересуемся температурами плавления.

Т а б л и ц а 3

Элемент	Атомная масса	Температура плавления (°К)
Литий (Li)	6,9	452
Натрий (Na)	23,0	371
Калий (K)	39,1	337
Рубидий (Rb)	85,5	312
Цезий (Cs)	132,9	301

Температура плавления цезия составляет 301 °К или 28,5 °С, то есть он расплавится в жаркий летний день. Существует и шестой щелочной металл — франций. Он радиоактивен, и период полураспада его самого долгоживущего изотопа (с атомной массой 223) всего 21 минута. Его температура плавления пока не определена, но можете держать пари, что она около 290 °К, и франций расплавится в приятный весенний день.

Другие разнообразные свойства меняются в связи с атомными массами внутри семейств эле-

ментов, причем величины иногда упорно растут, а иногда упорно уменьшаются¹. Теперь следующий вопрос: наблюдается ли такой же эффект внутри семейств соединений, то есть веществ с молекулами, состоящими более чем из одного сорта атомов?

Рассмотрим молекулы, созданные из углерода и водорода. Их очень много, поскольку атомы углерода могут связываться друг с другом цепочками и кольцами. Предположим, что у нас имеется один атом углерода, связанный с водородом; цепочка из двух атомов углерода, связанных с водородом; цепочка из трех атомов углерода, четырех и так далее. Чем длиннее цепь, тем больше молекулярная масса, и мы можем считать ряд прогрессивно увеличивающихся, очень похожих молекул, семейством. Что происходит с температурой кипения в этом случае?

Т а б л и ц а 4

Соединение	Молекулярная масса	Температура кипения (°K)
Метан (CH ₄)	16,0	111,7
Этан (C ₂ H ₆)	30,1	184,5
Пропан (C ₃ H ₈)	44,1	228,7
Бутан (C ₄ H ₁₀)	58,1	273,7
Пентан (C ₅ H ₁₂)	72,2	309
Гексан (C ₆ H ₁₄)	86,2	341

Как видите, в этом случае температура кипения плавно увеличивается с увеличением молекулярной массы.

Конечно, в семействе углеводородов, рассмотренном в таблице 4, молекулы всех его членов со-

¹ Необходимо отметить, что неуклонное изменение свойств обнаруживается не всегда. Есть исключения. Однако современные химики обычно объясняют их, и мы получим подобный пример позже в этой главе.

стоят из одних и тех же элементов. Возможно ли создать семейства, в которых по меньшей мере один из элементов меняется от одного члена к другому?

Так, углерод — первый член семейства элементов, в котором следующие три — в порядке возрастания атомной массы веса — кремний (Si), германий (Ge) и олово (Sn). Атом каждого из вышеприведенных членов может соединяться с четырьмя атомами водорода, образуя известные соединения (силан, герман и станнан, соответственно), аналогичные метану. Таблица 5 показывает, что происходит с их температурами кипения, и в таком семействе вы также видите закономерность.

Т а б л и ц а 5

Соединение	Молекулярная масса	Температура кипения (°K)
Метан (CH ₄)	16,0	111,7
Силан (SiH ₄)	32,1	161,4
Герман (GeH ₄)	76,6	184,7
Станнан (SnH ₄)	122,7	221

Проблема выяснения причин столь высокого температурного диапазона жидкой фазы воды может решиться проще, если мы будем работать в некоем семействе соединений, ее включающих.

Молекулы воды состоят из атомов водорода и кислорода (H₂O). Из этих двух элементов водород — одиночка и не является частью какого-либо ярко выраженного семейства (хотя имеет некоторое родство как с галогенами, так и со щелочными металлами). Кислород, с другой стороны, первый член семейства, включающего следующие за ним серу (S), селен (Se) и теллур (Te). Атом каждого элемента из этой тройки может соединяться с дву-

мя атомами водорода, образуя молекулы (H_2S , H_2Se и H_2Te соответственно), аналогичные по структуре молекулам воды.

Т а б л и ц а 6

Соединение	Молекулярная масса	Температура кипения ($^{\circ}\text{K}$)
Вода (H_2O)	18,0	373,2
Сероводород (H_2S)	34,1	213,5
Селеноводород (H_2Se)	81,0	231,7
Теллуриводород (H_2Te)	129,6	271,0

Если мы посмотрим только на три последние строчки, то увидим, что температура кипения возрастает с возрастанием молекулярной массы. *Но вода сюда не подходит!* Из трех последних строчек следует, что температура кипения воды должна быть около 200°K или -73°C . Только в самые холодные полярные дни вода смогла бы превратиться из пара в жидкость, а ее температура кипения примерно на 170° выше, чем следовало бы. Действительно, горячая вода.

Есть еще два соединения, которые, как и вода, в этом отношении не вписываются в свои семейства.

Атом водорода соединяется с одним атомом любого из галогенов. Мы можем получить фтороводород (HF), хлороводород (HCl), бромоводород (HBr) и йодоводород (HI). Температуры кипения трех последних по абсолютной шкале соответственно: $188,2$, $206,5$ и $237,8^{\circ}\text{K}$. Можно ожидать, что температура кипения HF будет около 170° , но это не так. Температура кипения фтороводорода равна $292,6^{\circ}$, то есть «перебор» примерно в 120° .

Три атома водорода могут также соединяться с одним атомом элементов из семейства, включающего азот (N), фосфор (P), мышьяк (As) и сурьму

(Sb). Соединения фосфин (PH_3), арсин (AsH_3) и стибин (SbH_3) имеют температуры кипения 185,5, 218 и 256°. Отсюда следует, что первый член этой группы — аммиак (NH_3) — должен бы иметь температуру кипения около 150°, и опять наши ожидания не оправдываются. Его температура кипения 239,8°, то есть «перебор» — около 90°.

Тогда что же общего у этих соединений со слишком высокой температурой кипения: воды (H_2O), аммиака (NH_3) и фтороводорода (HF)?

1) Все три имеют молекулы, состоящие из атомов водорода и одного другого сорта атомов.

2) Эти другие атомы — кислород, азот и фтор — как оказалось, три самых электроотрицательных атома, то есть атомы, способные выхватывать электроны из других атомов.

Атом фтора, самый электроотрицательный из всех, может, например, отобрать электрон и у атома натрия, стать его единственным владельцем и начисто лишит атом натрия одного электрона.

Атом водорода не такая легкая добыча. Он держится за свой единственный электрон гораздо крепче, чем атом натрия за свой отдаленный электрон. Атом фтора не отбирает электрон у атома водорода, но захватывает его львиную долю. Электрон, так сказать, оказывается ближе к центру атома фтора, чем к центру атома водорода.

Это означает, что если провести воображаемую линию через центр молекулы фтороводорода между атомом водорода и атомом фтора, то у стороны фтора, имеющей более половины электронов, будет маленький отрицательный электрический заряд, а у стороны водорода — равный ему маленький положительный заряд.

Почти то же самое можно сказать о молекуле воды и молекуле аммиака. В каждом случае сторона атомов водорода несет маленький положитель-

ный заряд, а сторона атома кислорода (или азота) несет маленький отрицательный заряд.

Все три молекулы — полярные молекулы. То есть они имеют полюса, на которых сосредоточен электрический заряд.

Этого нет, например, в H_2S , который по структуре очень похож на H_2O . Сера просто не так электроотрицательна, как кислород, и не может отбирать у атомов водорода электронов больше, чем ей положено. Сероводород поэтому не очень полярен, как и хлороводород или фосфин.

Если теперь мы рассмотрим полярные молекулы — с положительно заряженным и отрицательно заряженным концами, то неизбежно подумаем о возможности взаимного притяжения молекул. Что, если положительно заряженный конец одной молекулы окажется поблизости от отрицательно заряженного конца другой молекулы того же сорта? Не слипнутся ли они хотя бы немного?

Да, слипнутся, особенно потому, что положительно заряженный конец принадлежит атому водорода. Отчего? Оттого что атом водорода самый маленький из всех атомов и его центр может оказаться самым близким. Сила притяжения между двумя противоположно заряженными объектами меняется обратно пропорционально расстоянию между ними. Чем больше они сблизятся, тем сильнее притяжение.

Следовательно, молекула воды, молекула фтороводорода и молекула аммиака — «липкие молекулы».

Они имеют тенденцию выстраиваться положительным концом к отрицательному концу, и, чтобы оторвать их друг от друга, требуются значительно более высокие температуры, чем если бы молекулы были неполярными, то есть если бы заряды не концентрировались на противоположных концах и

атомы удерживались бы только силами Ван дер Ваальса, упомянутыми в предыдущей главе¹.

Обычно молекулы воды рисуют так: атом водорода соединяется с атомом кислорода собственной молекулы черточкой, представляющей простую химическую связь, а связь с атомом кислорода соседней молекулы рисуют более длинной пунктирной черточкой, указывающей электромагнитное притяжение противоположных зарядов.

Поскольку атом водорода оказывается между двумя атомами кислорода, одним собственным и одним из соседней молекулы (или похожим образом между двумя атомами фтора, между двумя атомами азота, между атомом азота и атомом кислорода и так далее), такую ситуацию обычно называют «водородной связью».

Водородная связь слабее обычной химической связи в двадцать раз, но ее достаточно для того, чтобы добавить 170° к температуре, требуемой для разрыва молекул и приведения жидкости к кипению. Молекулы воды достаточно липкие, благодаря водородным связям, и вода кипит не при 200°K , а при 373°K . В сочетании с тем, что водород и кислород — два самых распространенных во Вселенной атома, формирующих соединения, это позволяет жидким океанам существовать на планете с земной температурой.

Более того, именно из-за липкости молекул вода может поглощать так много тепла при повышении температуры на каждый градус или отдавать так много тепла при падении температуры на каждый

¹ Силы Ван дер Ваальса также результат электрической асимметрии в атомах и молекулах с кратковременными концентрациями электрического заряда то в одном, то в другом месте. Однако в неполярных молекулах перемещение концентрации с места на место приводит к общим очень крохотным поляризациям, гораздо меньшим, чем в полярных молекулах, где концентрация заряда постоянна и четко локализована.

градус. Поэтому мы говорим, что вода имеет необычайно высокую «теплоемкость».

Соответственно, благодаря необходимости разрывать все эти водородные связи, необычайно высоко поглощение тепла при температурах таяния или кипения. То есть требуется гораздо больше тепла, чем можно было бы ожидать, чтобы превратить лед при $273\text{ }^{\circ}\text{K}$ в воду той же температуры или превратить воду при $373\text{ }^{\circ}\text{K}$ в пар той же температуры. И наоборот, необычайно высокое количество тепла выделяется, когда пар конденсируется в воду или вода замерзает в лед. (Другими словами, вода имеет необычайно высокую «скрытую теплоту плавления и парообразования».)

Это больше чем просто статистика. Вода ведет себя как огромная теплогубка. Она забирает и отдает больше тепла, чем любое другое вещество при одном и том же изменении температуры, поэтому океан нагревается гораздо медленнее, чем суша, под лучами солнца и охлаждается гораздо медленнее в отсутствие солнца.

Таким образом, Земля с огромным водным океаном на поверхности имеет гораздо более ровную температуру, чем имела бы без него. Летом лениво нагревающийся океан работает как охладитель; зимой медленно остывающий океан ведет себя как нагреватель. И если вы хотите представить, что это означает на практике, сравните перепады температур день—ночь и лето—зима в земных регионах, значительно удаленных от океана (Северная Дакота), с участками суши, со всех сторон окруженными океаном (Ирландия).

Поскольку при любой температуре испаряющаяся вода поглощает больше тепла на грамм образующегося пара, чем любая другая распространенная жидкость, вода является особенно дешевым и эффективным кондиционером воздуха.

Пот — почти чистая вода, и при его испарении большое количество тепла должно поглощаться из ближайшего к этой воде объекта, а это кожа, на которой пот остается. Поэтому тело охлаждается.

Теперь поговорим о растворимости. В таком веществе, как хлористый натрий (обычная соль), атомы натрия отдают по электрону атомам хлора, а те, в свою очередь, приобретают по электрону. Атомы натрия несут единицу положительного заряда, а атомы хлора — единицу отрицательного заряда и потому называются ионами. Две группы ионов сцепляются благодаря притяжению противоположных зарядов¹.

Когда частицы соли оказываются в воде, положительные и отрицательные полюса молекул воды создают электромагнитное поле, склонное нейтрализовывать поле заряженных ионов натрия и хлора. В присутствии воды эти ионы цепляются друг за друга с гораздо меньшим энтузиазмом, чем на открытом воздухе, и склонны разваливаться и самостоятельно плавать в воде. Короче говоря, хлористый натрий растворяется в воде.

Аналогично хлористому натрию ведет себя и множество других электровалентных соединений, то есть соединений, состоящих из противоположно заряженных ионов.

Полярные соединения, состоящие не из ионов в чистом виде, а из молекул с разделенными концентрациями заряда (как сама вода), гораздо менее склонных цепляться друг за друга, в присутствии воды также растворяются. Сюда входят многие важные для жизни вещества, имеющие кислородно-водородные и азотно-водородные связи, обеспечивающие поляризацию: различные спирты, сахара, амины и другие органические соединения.

¹ Молекула хлористого натрия гораздо более полярна, чем молекула воды, и это отражается в его чрезвычайно высокой температуре кипения.

Ни одна другая жидкость не является таким универсальным растворителем, как вода; ни одна другая жидкость не может растворять значительные количества множества столь разнообразных веществ. Правда, следует уточнить, что вода не может растворять значительные количества всех электровалентных соединений, поскольку электровалентность не является единственным важным свойством. И конечно, вода не может растворять такие неполярные соединения, как углеводороды, жиры, стерины и так далее.

Важность воды как универсального растворителя в следующем.

Самые значимые вещества в человеческом теле — белки и нуклеиновые кислоты вместе с их самыми важными источниками энергии, крахмалами и сахарами, — насыщены кислородно-водородными и азотно-водородными связями. Не будучи полярными, эти вещества имеют важные полярные участки внутри своих молекул. Такие соединения могут растворяться в воде или, по меньшей мере, близко притягивать молекулы воды к различным своим участкам и претерпевать изменения благодаря этим притянутым молекулам воды.

Короче говоря, химические процессы в человеческом теле могут развиваться на водном фоне. Как мы знаем, этот фон так необходим для жизни, что жизнь могла зародиться только в океане, и теперь, даже приспособившись к условиям суши, ткани все еще приблизительно на 70 процентов состоят из воды.

Итак, подведем итог. Вода имеет высокий температурный диапазон жидкой фазы, способна действовать как уравнивающая температуру губка и как эффективный воздушный кондиционер, способна растворять широкий спектр веществ и таким образом действовать как посредник в необходи-

мых для жизни реакциях, следовательно, мы можем сказать: «Безусловно, это не случайность. Безусловно, вода создана для удовлетворения жизненных нужд».

Однако боюсь, что это означает ставить телегу впереди лошади. Начнем с того, что вода существовала как вещество с определенными свойствами, и жизнь развилась так, чтобы подходить к этим свойствам. Были бы у воды другие свойства, жизнь развилась бы в соответствии с теми свойствами. Если бы у воды был, например, более низкий температурный диапазон, то жизнь могла бы зародиться на Юпитере. А если бы воды вовсе не существовало, жизнь могла бы развиваться в соответствии со свойствами какой-нибудь другой жидкости.

Однако представим, что в любом случае развилась бы высокая форма другой жизни, способная проникательно изучать ситуацию. Она бы искренне верила, что разумное и высшее начало вовлечено в то, что на самом деле является слепыми и случайными силами, созданными эволюцией.

И я полагаю, что если бы восхитительная дама, написавшая мне письмо, внимательно прочитала этот очерк, то почувствовала бы, что ее гнев еще более оправдан и слова Священного Писания в полной мере относятся ко мне.

Но что же я могу поделать? Я описываю ситуацию так, как ее понимаю.

Глава 8

ХОЛОДНАЯ ВОДА

Около полугода тому назад (относительно времени написания сих строк) я быстро шел по зимнему Нью-Йорку. Снега не было, но было очень

холодно, и я спешил в теплое убежище. Переходя улицу, я наступил на крышку канализационного люка и грохнулся на мостовую.

Это было самое страшное падение за всю мою жизнь, и, лежа на земле, я жалел себя, ибо думал, что сломал левую большую берцовую кость, а ведь прежде я ни разу не ломал ни косточки. Следовало лежать и ждать помощи, но я попытался подняться по двум причинам.

Во-первых, я отчаянно надеялся, что кость не сломана и, если я смогу встать на ноги, так оно и будет. Во-вторых, хотелось выяснить, почему я упал, поскольку я обычно крепко держусь на ногах.

Оказалось, что стоять я могу. Левая нога была ободрана ниже колена, но кость уцелела, в отличие от моего костюма (моего *лучшего* костюма). Затем я обнаружил (испытывая скорее гнев, чем печаль), что крышка люка покрыта тонким слоем скользкого льда. Лед совершенно прозрачен и, если не приглядываться, крышка кажется сухой и безопасной.

Я поковылял дальше к своей гостинице, находившейся в длинных четырех кварталах от места падения. У меня не было времени размышлять над случившимся и делать из этого статью. Однако сейчас горечь притупилась, и я готов. Итак, милый читатель, вот результат того падения.

Для древних одним из самых замечательных свойств льда, может, самым замечательным свойством — тем самым, что стало причиной моего падения, — была его прозрачность. Греки называли лед *krystallos* от *kyros*, что значит «мороз», возможно, потому, что первое сильное впечатление лед произвел на них именно способом своего образования.

Однако из первого свойства вытекало другое, и название стало подразумевать скорее прозрачность, чем холод. В конце концов холодным может

быть что угодно, но древние знали очень мало предметов, которые были бы одновременно и холодными, и прозрачными.

Затем были обнаружены кусочки кварца, также прозрачные, и их называли *krystallos*, поскольку вначале считали одной из форм льда, подвергнувшегося столь сильному охлаждению, что он приобрел постоянную форму и потерял способность таять.

Следом это слово претерпело еще одну трансформацию смысла. Одним из интересных свойств прозрачного кварца была удивительная правильность его формы. Его плоские грани, встречаясь, образовывали определенные углы. В конце концов, *krystallos* стали называть любое твердое геометрически правильное тело. Отсюда и произошло современное слово «кристалл».

Тем не менее древнее значение «прозрачность» в остаточной форме сохранилось. Еще приходится слышать о «кристаллических сферах», поддерживающих планеты в старой космологии Птолемея, и не потому, что они состояли из твердых кристаллов — боже упаси! — а потому, что были совершенно прозрачны и невидимы.

В наше время гадалка, таинственно глядя на стеклянную сферу, притворяется, будто видит нечто в «кристаллическом шаре». И не потому, что сфера кристаллическая в современном значении, ибо стекло как раз одно из очень немногих твердых тел-некристаллов (и не является истинно твердым), а потому, что она прозрачная.

И все же ничто из вышесказанного не передаст истинных чудес льда, а их предостаточно. Обитателям тропиков само существование «твердой воды» может показаться удивительным и парадоксальным, и, хотя прохлада и прозрачность льда

сами по себе интересны, на самом деле они ничего не значат.

Рассмотрим для начала то, что стало почти клише. Случалось ли вам слышать такое утверждение: «Как айсберг, девять десятых значения скрыто»?

Как айсберг!

Поскольку я не путешественник, я никогда не видел настоящего айсберга, но, если бы я плыл на корабле и в поле зрения показался бы айсберг (надеюсь, на безопасном расстоянии), я уверен, что пассажиры, столпившись у поручней, говорили бы друг другу: «Ты только представь, Мейбл (или Гарри), девять десятых этого айсберга скрыто под водой».

Тогда я бы сказал: «Дамы и господа, это неудивительно. Удивительно то, что одна десятая торчит над водой». Естественно, на меня посмотрели бы как на чудака, и это (о, в который раз!) подчеркнуло бы, насколько чокнутым я кажусь моим любимым соплеменникам.

Однако это правда.

В общем, плотность любого вещества увеличивается с уменьшением температуры. Чем ниже температура, тем медленнее движутся атомы или молекулы газа, тем слабее они отскакивают друг от друга и тем ближе друг к другу теснятся. Когда кинетической энергии молекул газа не хватает для преодоления сил притяжения между молекулами (см. две предыдущие главы), газ превращается в жидкость.

В жидкостях молекулы фактически контактируют, но у них достаточно энергии для того, чтобы свободно скользить мимо друг друга. Они также колеблются и удерживают друг друга на больших расстояниях, чем если бы были абсолютно неподвижны.

С падением температуры сила и амплитуда колебаний уменьшаются и молекулы группируются

чуть ближе друг к другу. Плотность вещества продолжает увеличиваться.

В конце концов энергии колебаний не хватает для скольжения молекул. Они успокаиваются в определенном порядке, и вещество отвердевает. Расположение молекул более компактно (обычно), чем возможно в жидкой форме, но молекулы все еще колеблются около определенных положений. С дальнейшим уменьшением температуры колебания продолжают затухать, пока не сводятся к минимуму при температуре абсолютного нуля ($-273,1\text{ }^\circ\text{C}$). И здесь плотность достигает максимума.

Подведем итог: как правило, с уменьшением температуры увеличивается плотность. Происходит резкое увеличение плотности при переходе газа в жидкость¹ и еще одно, но менее резкое увеличение плотности, когда жидкость переходит в твердое состояние. Это означает, что твердая форма вещества, будучи плотнее жидкой формы того же вещества, не будет плавать в его жидкой форме.

Например, жидкий водород имеет плотность около 0,071 грамма на кубический сантиметр, но твердый водород имеет плотность около 0,086 грамма на кубический сантиметр. Если кубический сантиметр твердого водорода был бы полностью погружен в жидкий водород, он все еще весил бы 0,015 грамма и гравитационная сила тащила бы его вниз. Тонул бы он медленно (преодолевая сопротивление жидкого водорода), но неуклонно и в конце концов достиг бы дна контейнера или дна океана, если бы у нас было столько жидкого водорода.

(Вы можете подумать, что по пути вниз твердый водород растаял бы, но не в том случае, если

¹ За исключением «критической температуры», которая в данный момент нас не волнует.

бы океан жидкого водорода имел температуру замерзания, а именно это мы предполагаем.)

Точно так же твердое железо утонуло бы в океане жидкого железа, твердая ртуть утонула бы в океане жидкой ртути, твердый хлористый натрий утонул бы в океане жидкого хлористого натрия и так далее. Это настолько повсеместная ситуация, что если вы возьмете наобум тысячу твердых тел, то, скорее всего, обнаружите, что в каждом случае твердая форма утонет в жидкой форме, и у вас возникнет соблазн сформулировать универсальное правило.

Но не получится, ибо существуют исключения.

И из них самым важным исключением является вода.

При $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ (температура кипения воды в нормальных условиях) вода имеет минимальную плотность и все еще остается жидкой. Ее плотность в тот момент около 0,958 грамма на кубический сантиметр. С падением температуры плотность увеличивается: 0,965 при $90\text{ }^{\circ}\text{C}$, 0,985 при еще более низкой температуре и так до тех пор, пока при $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ее плотность не станет равна 1,000 грамма на кубический сантиметр.

Иначе говоря, один грамм воды при $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ имеет объем 1,043 кубического сантиметра, но уменьшается до 1,000 кубического сантиметра при $4\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Исходя из поведения других веществ мы с полным правом можем ожидать, что увеличение плотности и уменьшение объема будут продолжаться вместе с падением температуры ниже $4\text{ }^{\circ}\text{C}$. *Ничего подобного!*

Температура $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ¹ представляет точку максимальной плотности для жидкой воды. С дальнейшим уменьшением температуры плотность опять начинает увеличиваться (правда, чуть-чуть), и,

¹ Если точнее, то $3,98\text{ }^{\circ}\text{C}$.

когда температура достигает $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, плотность равняется 0,9999 грамма на кубический сантиметр, так что грамм воды занимает 1,0001 кубического сантиметра. Различие в плотностях воды при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ и при $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ незначительно, но направлено «не в ту» сторону, что делает его решающим.

При $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, если тепло больше не поступает, вода замерзает, и исходя из наших знаний о затвердевании других веществ, мы имеем право ожидать резкого увеличения плотности. И мы ошибемся! Происходит резкое *уменьшение* плотности.

Поскольку плотность воды при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, как я сказал, равна 0,9999 грамма на кубический сантиметр, вода превращается в лед при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ с плотностью всего лишь около 0,92 грамма на кубический сантиметр.

Если кубический сантиметр льда полностью погрузить в воду, когда и вода, и лед имеют температуру $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, тогда кубик льда будет весить $-0,08$ грамма и, так сказать, испытывать отрицательный гравитационный эффект. То есть он поднимется к поверхности воды. Подъем продолжится до тех пор, пока его погруженная часть не вытолкнет собственный вес (измеренный в воздухе) более плотной жидкой воды. Поскольку кубический сантиметр льда при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ весит 0,92 грамма и нужно только 0,92 кубического сантиметра воды при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, чтобы весить 0,92 грамма, оказывается, что, когда лед плавает, 92 процента его находятся под водой, а 8 процентов над водой.

От всех других твердых веществ, погруженных в их собственную жидкую форму, мы обычно ожидаем, что погружено будет в жидкость 100 процентов льда и 0 процентов останется над поверхностью. Следовательно, как я сказал ранее, удивительно не то, что такая большая часть айсберга невидима, а то, что так много (то есть вообще хоть что-то) видно.

Так отчего же так происходит?

Давайте начнем со льда. В обычном льду каждая молекула воды окружена четырьмя другими с большой точностью ориентированными молекулами. Атом водорода каждой молекулы воды направлен в сторону атома кислорода соседки, и эта ориентация обеспечивается маленьким электростатическим притяжением, существующим в водородной связи (как описано в предыдущей главе).

Водородная связь слаба, и ее недостаточно для того, чтобы очень сильно сблизить молекулы. Поэтому молекулы остаются необычайно далеко друг от друга, и если построить масштабную молекулярную структуру льда, то видно, что между молекулами остается достаточно пространства для создания упорядоченного расположения «дыр». Ничего видимого, как вы понимаете, ведь дыры имеют размер порядка диаметра атома.

И все же из-за этого лед получается менее плотным, чем был бы при более плотном расположении молекул.

С увеличением температуры льда его молекулы колеблются и движутся еще дальше друг от друга, так что его плотность уменьшается, достигая вышеупомянутого минимума 0,92 грамма на кубический сантиметр при 0 °С. Однако при температуре 0 °С молекулярные колебания достигают значений, при которых они просто уравнивают силы притяжения между молекулами. Если тепло продолжает поступать, молекулы могут освободиться и начать скольжение мимо друг друга. При этом, однако, некоторые из них проваливаются в дыры.

По мере того как лед тает, тенденция к уменьшению плотности из-за увеличения энергии колебаний компенсируется и даже перекрывается исчезновением дыр. По этой причине при 0 °С жидкая вода на 8 процентов плотнее твердой воды.

Однако даже при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ в воде не до конца исчезает свободное молекулярное расположение. С дальнейшим повышением температуры все еще продолжается медленное исчезновение последних немногих оставшихся дыр, и только при температуре $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ дыр остается так мало, что они больше не оказывают заметного влияния на изменение плотности. При температурах выше $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ энергия молекулярных колебаний увеличивается и плотность начинает постепенно уменьшаться, как ей и «положено».

Важность этой аномалии плотности воды невозможно преувеличить. Посмотрим, что происходит, например, холодной зимой со среднего размера озером.

Умеренно теплая летом вода постепенно охлаждается. Естественно, сначала остывает, становится более плотной и тонет вода у поверхности, выталкивая наверх более теплую воду со дна, чтобы и она, в свою очередь, остыла и утонула. Таким образом вся вода охлаждается и охладилась бы она вплоть до $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, если бы плотность продолжала постепенно увеличиваться с падением температуры.

Однако при достижении температуры в $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ дальнейшее остывание поверхностной воды приводит к легкому уменьшению плотности! Вода *не* тонет, а плавает по более теплой находящейся ниже воде. Температура воды у поверхности уменьшается до $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, но тепло медленно покидает более глубокие слои и их температура остается выше $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Замерзает только вода у поверхности, и лед, будучи плотнее воды, остается на плаву. Если холодная погода держится достаточно долго, то промерзает весь поверхностный слой воды и образу-

ется толстая ледяная корка. (Она может быть достаточно толстой и крепкой, чтобы выдержать конькобежцев.)

Однако лед — хороший теплоизолятор, и чем он толще, тем лучше изолирует. По мере его утолщения более глубокие слои воды (все еще жидкие) отдают тепло воздуху через лед все медленнее и медленнее и все медленнее утолщается ледяной слой. Короче говоря, в любую зиму, возможную на земле, значительных размеров озеро никогда не промерзнет до самого дна. Это значит, что зимой в нем могут уцелеть формы жизни.

Более того, с возвращением теплой погоды именно поверхностный лед получает главный удар солнечного тепла. Лед тает, и под ним сразу появляется жидкая вода, так что озеро быстро снова становится жидким.

А что бы случилось, если бы вода была похожа на другие вещества? При понижении температуры до самого 0 °С охлаждающаяся вода тонула бы, и вся озерная вода в конце концов охладилась бы до этой температуры. Вода стала бы замерзать в каждой точке, и любой лед, сформировавшийся вблизи поверхности озера, сразу же тонул, если бы под ним еще оставалась жидкость. Зимний холод, который в нынешних обстоятельствах может лишь образовать на озере толстую корку льда, проморозил бы то же самое озеро снизу доверху, если бы вода вела себя как другие вещества.

Тогда с возвращением теплой погоды поверхность замерзшего озера растаяла бы, но получившаяся вода изолировала бы более глубокие слои льда от солнечного тепла. Чем толще был бы слой жидкой воды, тем медленнее солнечное тепло проникало бы ко льду внизу и тем медленнее таял бы более глубокий лед. За обычное случающееся на земле лето промерзшие озера не успевали

бы оттаять полностью и оставались бы вечно ледяными.

То же самое случилось бы и с реками, и с полярными океанами. В самом деле, если бы вода вдруг изменила свои плотностные характеристики, каждая зима добавляла бы все больше льда, опускающегося в океанские пучины и остающегося там льдом навеки. В конце концов вся Земля превратилась бы в скованную льдом сушу с тонким слоем воды на поверхности тропического океана.

Даже если такая Земля находилась бы от Солнца на таком же расстоянии, как сейчас, и получала бы столько же солнечной энергии, она была бы холодным миром, и жизнь, какой мы ее знаем, не сформировалась бы. Следовательно, жизнь зависит от водородной связи не только по причине, изложенной мною в последней главе, но и из-за свободной структуры, которую она обеспечивает льду.

Кроме повышения температуры есть еще один способ избавиться от дыр в структуре льда. Почему бы просто не подвергнуть лед давлению? Конечно, потребуется огромное давление, чтобы уменьшить число дыр до такого количества, чтобы плотность льда сравнялась с плотностью воды. (Если вода заполняет плотно запечатанный контейнер и затем замораживается, то возникает давление, равное тому, которое требуется, чтобы сжать лед до плотности воды, и контейнер лопаается.)

Высокое давление можно создать в лаборатории. Примерно в 1900 году немецкий физик Густав Тамманн начал использовать такие высокие давления, а в начале 1912 года американский физик Перси Бриджмэн пошел еще дальше.

Таким образом выяснилось, что имеется много форм льда.

В любом твердом теле существует строгий порядок расположения молекул, и всегда есть возможность различного распорядка в различных условиях. Некоторые расположения компактнее других, и именно им благоприятствуют высокие давления и низкие температуры.

Так, при нормальных температурах и давлениях обычный лед (назовем его лед I) является единственно возможной формой льда. Однако с увеличением давления обнаруживаются две другие формы: лед II при температурах ниже -35°C и лед III при температурах между -35°C и -20°C .

Если продолжать увеличивать давление, образуется лед V. (Льда IV не существует. Появилось сообщение о его обнаружении, но потом доказали, что в наблюдениях была допущена ошибка, и от льда IV отказались, но только после того, как был обнаружен лед V).

Если еще больше увеличивать давление, образуются лед VI и лед VII, В то время как все другие формы льда существуют только при 0°C и ниже, лед VI и лед VII могут существовать при температурах выше 0°C , но только при огромных давлениях.

В действительности при давлении в 20 000 килограммов на квадратный сантиметр (в полтора миллиона раз выше атмосферного давления) лед VII будет существовать при температурах выше 100°C — температуры кипения жидкой воды при нормальных условиях.

Все эти формы льда высокого давления, как и ожидается, плотнее жидкой воды, поскольку дыры из них выжаты. Действительно, из всех известных форм льда только лед I, обычная разновидность, имеет плотность меньшую, чем у жидкой воды.

Можно было бы сделать вывод, что если бы любые формы льда, кроме льда I, могли существовать в океанах, то они погружались бы на дно и постепенно там накапливались.

В одном из своих великолепных романов Курт Воннегут представил фантастический «лед IX», способный существовать на океанском дне и произвольно образующийся только при наличии маленького своего «зернышка». У героя, конечно, был маленький кусочек этого льда, который, попав в океан, вызвал глобальную катастрофу.

Возможно ли подобное на самом деле? Нет. Любая форма льда, кроме льда I, может существовать только при огромных давлениях. Даже льду II и льду III требуется давление в две тысячи раз больше атмосферного, а ведь они — самые непритязательные в этом отношении. Если бы на дне океана достигались такие давления (а этого не происходит), то температура обязательно должна была бы быть гораздо ниже -20°C (а это не так.)

Дальше мы увидим, что ни одна форма льда, кроме льда I, не могла бы находиться в чьем-то кармане. Если бы образовался любой другой лед и вдруг убрали бы требуемое для его формирования высокое давление, то этот лед немедленно с чудовищным взрывом расширился бы в лед I.

Остается обсудить еще один вопрос. Хотя твердые формы вещества могут (и часто так и случается) существовать в различных кристаллических формах, то жидкости и газы этого не могут. В жидкостях и газах нет строгого порядка молекул, а в беспорядке разнообразие найти невозможно.

Однако в 1965 году советский ученый Б.В. Дерягин, изучая жидкую воду в очень тонких капиллярных трубочках, обнаружил, что некоторая ее часть

проявляет очень необычные свойства. Во-первых, ее плотность была в 1,4 раза больше, чем ожидается от обычной воды. Температура кипения ее необычайно высока, и эта вода может нагреться до $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ и только тогда покинуть жидкое состояние. Ее можно охладить до температуры ниже $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, прежде чем она затвердеет.

На Западе этому сообщению не поверили из-за почти автоматического скептицизма по отношению ко всем необычным открытиям, сделанным вне магического круга наций, отличившихся в науке XIX столетия.

Однако американцы повторили эксперименты Дерягина и, к собственному изумлению, получили те же самые результаты и даже смогли увидеть капельки аномальной формы жидкой воды — такие маленькие капельки, что их можно было разглядеть только под микроскопом.

Что за этим скрывалось?

Молекулы воды, скользя друг вокруг друга, имеют склонность принимать, как и молекулы льда, ориентацию водородной связи. Это случается в очень маленьких объемах и на очень короткие отрезки времени, но этого достаточно, чтобы заставить жидкую воду вести себя так, словно она состоит из субмикроскопических частичек льда, образующихся и разваливающихся с суперскоростью.

Этот «лед» никогда не образуется в объеме достаточно большом и на время достаточно долгое, чтобы сделать дыры значительными, а воду — такой же неплотной, как лед, но молекулы воды достаточно далеки друг от друга, чтобы водородные связи могли образовываться и разрушаться. Таким образом, жидкая вода — менее плотная, чем могла бы быть.

Однако предположим, что вода подвергается давлению таким образом, что молекулы вынужде-

ны сближаться, сохраняя ориентацию водородной связи. При необычайной близости соседних молекул водородная связь оказывается гораздо более сильной, чем обычно, и даже приближается по интенсивности к нормальной химической связи. Молекула за молекулой становится на место и, благодаря необычайно сильным притяжениям водородной связи, они составляют нечто вроде гигантской молекулы, построенной из маленьких водно-молекулярных частей.

Когда маленькие частички строят гигантскую молекулу таким образом, о них говорят, что они полимеризуются, а гигантскую молекулу называют полимером. Поэтому новую форму воды называют полимеризованной водой или, для краткости, поливодой.

В поливоде молекулы упорядочены, как во льду, но гораздо компактнее и конечно же без дыр. При таком компактном расположении молекул воды получается вещество, не только значительно более плотное, чем лед, но и значительно более плотное, чем обычная жидкая вода.

А из-за более тесного группирования молекул, чтобы оторвать их друг от друга и заставить поливоду кипеть, требуется температура гораздо выше 100°C . Также, чтобы растащить молекулы в группировки менее компактные, чем в обычном льду, требуется температура гораздо ниже 0°C . И другие необычные свойства поливоды легко объяснить с точки зрения компактного расположения молекул.

Безусловно, поливода не образуется при обычном увеличении давления, но образуется в ограниченных объемах крохотных капиллярных трубочек. Биологи сразу же задались вопросами, не формируется ли поливода в ограниченных объемах тканевых клеток и нельзя ли очень легко

объяснить некоторые свойства жизни в свете поливоды.

Я хотел бы закончить на этом блестящем открытии и еще более блестящих размышлениях, но, к сожалению, не могу из-за все еще скептического отношения многих химиков.

В конце концов, возможно, что исследователей ввело в заблуждение случайное растворение стекла трубок, в которых изучалась поливода, то есть предметом исследования была не чистая жидкая вода, а раствор с ничтожной примесью стекла.

Действительно, один химик недавно приготовил раствор кремниевой кислоты (который мог образоваться при контакте стекла с водой) и доложил, что она обладает теми же свойствами, что и поливода.

Так что в конце концов может случиться так, что обнаружение поливоды — ложная тревога.

Часть третья

ПРОБЛЕМА ЧИСЕЛ И ЛИНИЙ

Глава 9

ПРОСТЫЕ ЧИСЛА

Не так давно я получил письмо от одного юного математика-любителя с изложением доказательства бесконечности ряда простых чисел. Он задал мне два вопроса. Первый: убедительно ли его доказательство, и второй: не приводилось ли оно раньше. Я ответил, что, во-первых, это доказательство убедительно и изящно, но, во-вторых, Евклид сформулировал его слово в слово в 300 году до нашей эры.

Увы, увы, такова судьба почти всех нас, математиков-любителей, во все времена. Все, что мы доказываем верно, не ново, а все, что ново, то неверно. И все же я утверждаю, что, даже если мы не добиваемся приоритета, это все равно подвиг. Может, он и не развивает математику, но является триумфом интеллекта.

Я так и ответил моему юному корреспонденту, а теперь хотел бы рассказать вам об этом доказательстве и еще кое о чем.

Во-первых, что такое «простое число»? Простое число — это любое число, которое нельзя представить как произведение двух чисел, меньших, чем

оно само. Например, $15 = 3 \times 5$, следовательно, 15 *не* простое число. С другой стороны, 13 не может быть представлено как произведение меньших чисел и, следовательно, является простым числом. Конечно, $13 = 13 \times 1$, но 13 не меньше, чем 13, и потому это умножение не считается. *Любое* число может быть выражено им самим, умноженным на единицу, простое оно или нет (например, $15 = 15 \times 1$), и это не отличительный признак.

Другими словами, простое число нельзя разделить без остатка (оно не имеет множителей) *кроме* как на самое себя и на 1. Таким образом, 15 — кроме 15 и 1 — можно разделить без остатка только на 3 или 5; но 13 можно разделить *только* на 13 и 1. И опять же 15 — непростое число, а 13 — простое.

Так какие же числа тогда простые? Увы, на этот вопрос ответить нелегко. Нет способа, позволяющего определить простое число, только взглянув на него.

Существуют некоторые правила для определения, является ли какое-то число *непростым*, но это не одно и то же. Например, 287 444 409 786 — *непростое* число, и я могу это сказать по одному его виду. Более того, 287 444 409 785 — тоже *непростое* число, и это тоже видно. Однако простое ли число 287 444 409 787? С первого взгляда я могу сказать, что, *может быть*, оно простое; а *может быть*, и *нет*. Я не смогу утверждать наверняка, пока не посмотрю в таблицу, если допустить, что у меня есть таблица всех простых чисел до триллиона. Если у меня такой таблицы нет, а у меня ее нет, то придется мне засесть с бумагой и ручкой и попытаться найти множитель.

Существует ли метод нахождения всех простых чисел до какого-то предела? Да, конечно, существует. Запишите все числа от 1 до 100. (Я бы сделал это за вас здесь, но не хочу занимать мес-

то, и потом, если вы сами это сделаете, то это будет для вас хорошим упражнением.)

Первое число — 1, но оно *непростое* по определению. Причина в том, что в умножении — а именно этим способом нам придется отличать простые числа от непростых, 1 обладает уникальным свойством не изменять произведение. Таким образом, 15 можно записать как 5×3 , или как $5 \times 3 \times 1$, или как $5 \times 3 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \dots$ и так далее до бесконечности. Согласившись исключить 1 из списка простых чисел, мы исключаем появление хвоста из единиц и избавляемся от некоторых неприятных осложнений в теоретической работе с простыми числами. Никакие другие числа не ведут себя как 1 в этом отношении, и никаким другим числам не требуется особое обращение.

Теперь перейдем к числу 2, которое является простым числом, поскольку не имеет множителей, кроме самого себя и 1. Давайте исключим из нашего списка все числа, которые делятся на 2 (и поэтому не являются простыми), и для этого необходимо вычеркнуть каждое второе число после 2. То есть мы вычеркиваем 4, 6, 8, 10 и так далее, включая 100. Вы можете сами проверить, что эти числа непростые, поскольку $4 = 2 \times 2$; $6 = 2 \times 3$; $8 = 2 \times 4$ и так далее.

Теперь мы смотрим на наш список чисел и видим, что самым маленьким невычеркнутым числом является число 3. Оно простое, ведь 3 не имеет никаких множителей, кроме самого себя и 1. Так что начинаем с 3 и вычеркиваем далее каждое третье число: 6, 9, 12, 15 и так далее, включая 99. Некоторые из этих чисел, как, например, 6 и 12, мы уже вычеркнули, как делящиеся на 2, но ничего страшного; вычеркнем их снова. Все вычеркнутые числа делятся на 3 и потому *не* являются простыми: $6 = 3 \times 2$; $9 = 3 \times 3$ и так далее.

Следующее невычеркнутое число — 5, и вы вычеркиваете каждое пятое число после него. Затем 7, и вы вычеркиваете каждое седьмое число после него. Затем 11, затем 13 и так далее. К тому времени, как вы доберетесь до 47 и вычеркнете 47-е следующее за ним число (94), вычеркнутыми окажутся все числа, которые только можно вычеркнуть до 100. Следующее возможное число — 53, но если вы решите вычеркнуть 53-е число после него, то 106 уже окажется за пределами вашего списка.

Так что невычеркнутыми до 100 остались следующие числа: 2, 3, 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23, 29, 31, 37, 41, 43, 47, 53, 59, 61, 67, 71, 73, 79, 83, 89, 97.

Это и есть двадцать пять простых чисел до 100. Если вы их запомните, то сможете с первого взгляда отличить (в пределах 100) простое число от непростого, просто зная, входит ли оно в список, который я вам только что дал.

Есть ли какая-нибудь простая связь между всеми этими числами, какая-нибудь формула, дающая только простые числа до 100 и никаких других? Даже если бы я смог вывести такую формулу, она бы вам не помогла, ибо перестала бы работать, как только мы вышли бы за пределы 100, и в конце концов — если мы хотим — нам придется и дальше использовать тот же самый метод: останавливаться у каждого невычеркнутого числа и отсчитывать каждое следующее, стоящее на месте, равном этому числу. Тогда мы обнаружим, что за пределами 100 есть простые числа 101, 103, 107, 109, 113, 127 и так далее.

Если бы мы записали все числа до 1 000 000 000 000, то в конце концов вычеркнули бы все простые числа до этого предела и механически и безошибочно (при условии, что не ошиблись бы в подсчетах) определили бы, является ли простым число 287 444 409 787, которое я дал вам вначале, или нет.

Эта совершенная, но громоздкая система нахождения всех простых чисел до любого определенного числа называется ситом Эратосфена по имени греческого ученого Эратосфена, первым применившего его где-то около 230 года до нашей эры¹.

У сита Эратосфена есть одна беда: оно требует слишком много времени. Использовать его в пределах 100 нетрудно, но попробуйте сами дойти до 1000 или 10 000, и вы согласитесь, что очень быстро это превращается в непомерный труд.

Однако минуточку. По мере того как вы накапливаете все больше и больше простых чисел, каждое отсеивает несколько из оставшихся далее. Это означает, что все больший и больший процент оставшихся вычеркивается, не так ли?

Да, действительно. Как я только что показал, до 100 имеется двадцать пять простых чисел, но между 100 и 200 обнаруживается только двадцать одно простое число, а между 200 и 300 — шестнадцать. Это уменьшение не постоянно, и иногда количество простых чисел увеличивается, но в целом процент простых чисел действительно уменьшается. Например, между 1300 и 1400 вы найдете только одиннадцать простых чисел.

Ну тогда не закончатся ли когда-нибудь простые числа?

Поставим вопрос иначе. Продвигаясь по ряду чисел, мы находим *в среднем* все большие интервалы между простыми числами. Самая длинная последовательность непростых чисел до 30 состоит из пяти членов: 24, 25, 26, 27 и 28. Между 89 и 97 мы

¹ В юности Фредерик Пол (известный научный фантаст и издатель) самостоятельно вывел сито Эратосфена и чрезвычайно огорчился, узнав, что его опередили. Однако не требуется других доказательств смысленности Фреда. Независимая (хотя и кажущаяся простой после объяснения) разработка этой системы — больше, чем на что я когда-либо был способен.

найдем семь последовательных непростых чисел; между 113 и 127 — тринадцать последовательных непростых чисел и так далее. Если вы зайдете достаточно далеко, то обнаружите сотню последовательных непростых чисел, тысячу последовательных непростых чисел, десять тысяч последовательных непростых чисел и так далее.

Если вы продвинетесь по списку чисел достаточно далеко, то сможете найти (теоретически) любое количество непростых чисел последовательно, какое бы большое число вы ни назвали. Но, и это большое но, наступит ли время, когда число последовательных непростых чисел окажется бесконечным? Если так, то после некоей точки в списке чисел *все* оставшиеся числа будут простыми. Число, отмечающее эту «некую точку», будет самым большим возможным простым числом.

Тогда напрашивается вопрос: является ли количество простых чисел бесконечным, или существует какое-то простое число, самое большое из всех, за которым простых чисел уже нет.

Может быть, первое, что придет вам в голову: применять сито Эратосфена до тех пор, пока вы не доберетесь до числа, за которым все дальнейшие числа окажутся вычеркнутыми. Однако это невозможно. Как бы далеко вы ни зашли и каким бы длинным ни казался ряд непростых чисел, вы никогда не сможете сказать наверняка, существует ли где-то дальше (может, на триллион чисел дальше) еще одно простое число.

Значит, придется применить логическую дедукцию.

Рассмотрим непростое число, являющееся произведением простых чисел, скажем, $57 = 19 \times 3$. Теперь прибавим 1 к 57 и получим 58. Число 58 не делится на 3, поскольку, если вы попытаетесь это сделать, то получите 19 с остатком 1; не делится

оно и на 19, поскольку в этом случае вы получите 3 с остатком 1. Из этого не следует, что 58 вовсе не делится ни на какое число, ибо оно делится на 2 и на 29 ($58 = 2 \times 29$).

Однако вы можете видеть, что любое число, являющееся произведением двух или более меньших чисел, не будет делиться на любое из *тех* чисел, если его значение увеличится на 1. Представим это в символах:

Если $N = P \times Q \times R \dots$, то $N + 1$ *не* делится ни на P , ни на Q , ни на R или какой-либо другой множитель N .

Ну, теперь предположим, что вы начинаете с наименьшего простого числа 2 и рассматриваете произведение всех последующих простых чисел до некоторого момента. Начнем с двух наименьших простых чисел: $2 \times 3 = 6$. Если вы прибавите к произведению 1, то получите число 7, которое не делится ни на 2, ни на 3. И действительно, 7 — простое число. Вы идете дальше к $(2 \times 3 \times 5) + 1 = 31$, и это простое число. Затем $(2 \times 3 \times 5 \times 7) + 1 = 211$, и $(2 \times 3 \times 5 \times 7 \times 11) + 1 = 2311$, и 211 и 2311 — простые числа.

Если теперь мы попробуем $(2 \times 3 \times 5 \times 7 \times 11 \times 13) + 1$, то получим 30 031. А это уже *непростое* число. Поскольку ни 2, ни 3, ни 5, ни 7, ни 11, ни 13 (представляющих *все* простые числа до 13) нет среди его множителей, то любые простые числа, способные при умножении дать результат 30 031, должны быть больше 13. И действительно, $30\,031 = 59 \times 509$.

Мы можем вывести общее правило: 1 плюс произведение любого количества последовательных простых чисел, начиная с 2 и заканчивая P , будет либо простым числом и таким образом безусловно больше P , либо произведением простых чисел, каждое из которых больше P . И поскольку это вер-

но для любого P , то никак не может существовать наибольшее простое число, поскольку существует механизм нахождения еще большего простого числа, каким бы большим ни было число P . И это, в свою очередь, означает, что количество простых чисел бесконечно.

Это, по сути, и есть доказательство, представленное Евклидом, доказательство, которое мой юный корреспондент вывел самостоятельно.

Следующая проблема такова: если количество простых чисел бесконечно, то существует ли формула, подходящая ко всем простым числам и ни к одному из непростых чисел, чтобы мы могли сказать: любое число, удовлетворяющее этой формуле, — простое, а все другие — нет? Видите ли, чтобы определить, является число 287 444 409 787 простым или нет с помощью сита Эратосфена, которое докажет это наверняка, вы должны пройти через все меньшие числа, не пропуская ни одного. «Универсальная формула» напрямую подведет вас к числу 287 444 409 787 и подскажет, простое оно или нет.

Увы, такой формулы нет и вряд ли когда-нибудь она появится (хотя я не уверен, что *доказано*, будто ее нельзя вывести). Расположение простых чисел в списке чисел крайне нерегулярно, и ни один математик так и не смог до сих пор найти какой-либо порядок, даже самый сложный, чтобы вывести «универсальную формулу», какой бы сложной она ни оказалась.

Тогда давайте снизим наши требования. Возможно ли вывести какую-нибудь полезную формулу, которая даст нам не *каждое* простое число, но хотя бы *только* простые числа? Тогда, применяя эту формулу, мы смогли бы выделить беско-

нечное количество известных простых чисел, даже зная, что пропускаем бесконечное количество других простых чисел.

И опять нет (кроме отдельных бесполезных случаев). Как бы мы ни старались найти сносный метод, дающий только простые числа, в наш ряд *всегда* прокрадутся непростые числа. Например, вы могли бы подумать, что при прибавлении 1 к произведению последовательных простых чисел начиная с 2 получаются только простые числа. Числа, приведенные мной чуть ранее в этой главе — 7, 31, 211, 2311, — все простые! Но затем следует число 30 031, и оно уже *непростое*.

Были выведены формулы, в которых значение n заменялось числами 1, 2, 3 и так далее, где n принимало простые значения вплоть до $n = 40$. А затем вдруг для $n = 41$ выскакивало непростое число.

Давайте еще раз снизим наши требования. Существует ли какой-нибудь способ, который позволит нам выделять только непростые числа? Непростые числа, возможно, неинтересны, но, по крайней мере, мы сможем от них избавиться и изучить группу оставшихся чисел, в которых простых чисел будет больше.

Да! Наконец-то мы можем ответить «да»! Например, применяя сито Эратосфена, вы, возможно, заметили, что, вычеркивая каждое второе число после 2, вы вычеркнули *только* числа, заканчивающиеся на 2, 4, 6, 8, 0. Это означает, что любое число, каким бы длинным и внушительным оно ни оказалось, даже если в нем триллион цифр, — *непростое* число, если последняя цифра 2, 4, 6, 8 или 0; другими словами, если оно четное.

Поскольку ровно половина всех чисел в бесконечной последовательности чисел заканчивается на эти цифры, то это означает, что все простые числа (за исключением, конечно, самого числа 2)

должны находиться в другой половине — среди нечетных чисел.

И опять, когда вы начинаете с 5 и вычеркиваете каждое пятое число, вы вычеркиваете *только* числа, заканчивающиеся на 5 и 0. Числа, заканчивающиеся на 0, уже вычеркнуты, но теперь мы можем исключить любое число из списка возможных простых чисел, если его последняя цифра — 5 (за исключением, конечно, самого числа 5).

Это означает, что мы должны искать простые числа (не 2 и не 5) *только* среди тех чисел, которые заканчиваются на 1, 3, 7 или 9. То есть из любого списка последовательных чисел мы можем исключить 60 процентов и искать простые числа только в оставшихся 40 процентах.

Конечно, если мы рассматриваем не бесконечный список последовательных чисел (скажем, от 1 до 1 000 000 000 000), а *все* числа, то 40 процентов, способные содержать простые числа, все еще бесконечны и все еще содержат бесконечное число простых чисел, а также бесконечное число непростых чисел. Ограничение областей, где мы можем искать простые числа, не помогает нам решить главную проблему нахождения всех простых чисел каким-нибудь механическим способом, более легким, чем сито Эратосфена, но, по меньшей мере, несколько расчищает поле деятельности.

Безусловно, есть и другие возможные критерии исключения. Любое число, сколь угодно длинное и сложное, чьи цифры при сложении дают сумму, делящуюся на 3, само делится на 3 и не является простым числом. Однако сложение цифр весьма утомительно, так что давайте ограничимся тем, что будем смотреть на последнюю цифру. Трюк с рассмотрением последней цифры — единственный простой и приятный способ отсева. Можем ли мы как-то исправить нынешнюю ситуацию?

Чтобы ответить на этот вопрос, давайте спросим себя, в чем заключается магия чисел 2 и 5, позволяющая им проявляться в последней цифре. Ответ прост. Наша система счисления основана на 10, а $10 = 2 \times 5$. Нам остается лишь найти число, являющееся произведением двух разных простых чисел, *меньших*, чем 10. Может быть, тогда мы сможем втиснуть «магию» в меньшее пространство.

Подойдет лишь одно число, меньшее, чем 10, и это $6 = 2 \times 3$.

Все числа — либо кратны 6, либо, будучи поделены на 6, дают остатки, равные 1, 2, 3, 4 или 5. Других возможностей нет. Это означает, что любое число можно отнести к классу $6n$, $6n + 1$, $6n + 2$, $6n + 3$, $6n + 4$ или $6n + 5$. Из них любое число, представленное как $6n$, не может быть простым, поскольку делится и на 2, и на 3 ($6n = 2 \times 3n = 3 \times 2n$). Любое число в форме $6n + 2$ или $6n + 4$ делится на 2, а любое число в форме $6n + 3$ делится на 3.

Это означает, что все простые числа (кроме 2 и 3) представимы в формах $6n + 1$ или $6n + 5$. Поскольку $6n + 5$ эквивалентно $6n - 1$, мы можем сказать, что все простые числа или на единицу больше, или на единицу меньше, чем число, кратное 6.

Тогда, для примера, составим список из чисел, кратных 6: 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48, 54, 60, 66, 72, 78, 84, 90, 96, 102...

Отталкиваясь от этого списка, составим двойной список всех чисел на единицу меньше этих кратных и на единицу больше, выделяя жирным шрифтом простые числа:

5, 11, 17, 23, 29, 35, 41, 47, 53, 59, 65, 71, 77, 83, 89, 95, 101...

7, 13, 19, 25, 31, 37, 43, 49, 55, 61, 67, 73, 79, 85, 91, 97, 103...

Как видите, в вертикальных парах нижнее число на 2 больше верхнего (с числом, кратным 6,

между ними). Глядя на двойной список, вы, вероятно, подумаете, что по меньшей мере одно число из каждой пары должно быть простым и что это вносит некий дополнительный порядок в простые числа. К несчастью, это не так. В приведенном списке по меньшей мере одно число из каждой пары является простым, но если вы пойдете дальше, то обнаружите, что в паре 119—121 ни одно из чисел простым не является. Число 119, которое можно представить как $6 \times 20 - 1$, равно 7×17 , а число 121, которое можно представить как $6 \times 20 + 1$, равно 11×11 . Чем дальше, тем чаще встречаются пары непростых чисел.

Иногда простым оказывается только верхнее и меньшее число пары, как в **23** — **25**; иногда — только нижнее и большее число, как в **35** — **37**. В конце и верхний и нижний списки получают равную долю, но совершенно произвольно.

Случается, что оба числа в паре являются простыми, как в парах **5** — **7**, **11**—**13** и **101**—**103**. Такие пары называются простыми числами-двойниками и попадают во всем списке, исследованном на данный момент на предмет простых чисел. Плотность их появления уменьшается по мере роста чисел, как и плотность самих простых чисел. Правда, может показаться, что плотность простых чисел-двойников никогда не упадет до нуля и что число простых чисел-двойников бесконечно. Однако это *до сих пор не доказано*.

Если мы рассмотрим только числа, которые можно представить в форме $6n + 1$ и $6n - 1$, то обнаружим, что они содержат каждое существующее простое число (кроме 2 и 3) и все же составляют только одну треть всех чисел в любом списке с конечным количеством последовательных членов. Можно ли каким-либо способом связать это с последней цифрой?

Ответ «да»!!!! И я пользуюсь столькими восклицательными знаками, поскольку добрался до того, что, как я уверен, было прекрасно известно математикам по меньшей мере два столетия, но я не встретил об этом никаких упоминаний ни в одной прочитанной книге. Я дошел до этого самостоятельно!

Вам остается использовать шестеричную систему счисления, в которой наши привычные числа выглядят так:

В десятичной системе:

1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17...

В шестеричной системе:

1, 2, 3, 4, 5, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 20, 21, 22, 23, 24, 25...

В шестеричной системе счисления, возможно, только числа, заканчивающиеся на цифры 1 и 5, могут быть простыми. В шестеричной системе счисления мы сразу же поняли бы, что 14 313 234 442, 14 313 234 443, 14 313 234 444 и 14 313 234 440 — *не* простые числа, лишь взглянув на последнюю цифру. С другой стороны, 14 313 234 441 и 14 313 234 445 *могут* быть простыми (но, к несчастью, могут и не быть).

Дело в том, что в шестеричной системе вы могли бы мгновенно исключить две трети чисел в любой бесконечной последовательности чисел, только взглянув на последнюю цифру, а в одной трети останутся все простые числа (кроме 2 и 3). Это лучше, чем в десятичной системе счисления, где мы можем исключить три пятых и оставить две пятых.

Но что, если мы берем за основу системы счисления число, которое имеет не два различных простых множителя, как 6 и 10, а *три* разных простых множителя? Наименьшим таким числом является $30 = 2 \times 3 \times 5$.

Если мы за основу системы счисления берем 30, все числа представляются в виде $30n$: $30n + 1$, $30n + 2$, $30n + 3$... и так далее до $30n + 29$. Из них числа в виде $30n$ ($30n + 2$, $30n + 4$ и так далее) делятся на два и потому непростые; числа в виде $30n + 3$, $30n + 9$, $30n + 15$ и так далее делятся на три и потому непростые; числа в виде $30n + 5$ и $30n + 35$ делятся на 5 и тоже непростые. В конце концов только числа, не делящиеся на 2, 3 или 5 (кроме самих 2, 3 и 5) и соответственно представленные в виде $30n + 1$, $30n + 7$, $30n + 11$, $30n + 13$, $30n + 17$, $30n + 19$, $30n + 23$ и $30n + 29$, *могут* быть простыми.

Похоже, что большое число классов чисел содержит простые числа, но в тридцатеричной системе счисления существует тридцать разных цифр, представляющих каждое число от 0 до 29 включительно. И в тридцатеричной системе счисления числа, оканчивающиеся на двадцать две из этих тридцати цифр, — непростые. Только те, что оканчиваются на восемь цифр, эквивалентных нашим десятичным числам 1, 7, 11, 13, 17, 19, 23 и 28, *могут* быть простыми.

Тогда в тридцатеричной системе счисления мы исключаем одиннадцать пятнадцатых или $73\frac{1}{3}$ процента из любой бесконечной последовательности чисел и втискиваем все простые числа (кроме 2, 3 и 5) в оставшиеся $26\frac{2}{3}$ процента.

Конечно, вы можете пойти еще дальше. Вы можете использовать систему счисления, основанную на 210 (поскольку $210 = 2 \times 3 \times 5 \times 7$), или 2310 (поскольку $2310 = 2 \times 3 \times 5 \times 7 \times 11$), или еще дальше, продвигаясь по шкале простых множителей так далеко, как вам захочется. В каждом случае вам придется исключать все простые числа, которые являются множителями основания системы счисления, но втискивать все другие простые

числа во все меньшие и меньшие части любой бесконечной последовательности чисел.

Покажу, как это работает в освоенных мною случаях:

Основание системы	% исключенных	% оставшихся
2	50	50
$2 \times 3 = 6$	$66^{2/3}$	$33^{1/3}$
$2 \times 3 \times 5 = 30$	$73^{1/3}$	$26^{2/3}$
$2 \times 3 \times 5 \times 7 = 210$	$77^{1/7}$	$22^{6/7}$

Я отказываюсь идти дальше. Можете сами получить проценты для 2310 или для любой другой базы¹.

Чем на большем числе вы строите вашу систему счисления, тем неудобнее управляться с этой системой на практике, как бы ни прекрасно это казалось в теории. Весьма легко понять систему написания и обращения с числами в тридцатеричной системе счисления, но попробуйте выполнить это на бумаге — и психушка вам обеспечена, конечно, если вы по меньшей мере не так сообразительны, как я.

Выигрыш в концентрации простых чисел при переходе к тридцатеричной системе счисления (и я даже не говорю о двухсотдесятеричной или любой более высокой) просто не стоит громадных затрат времени и сил.

Так давайте придерживаться шестеричной системы, которая не только эффективнее нашей привычной десятичной, как концентратор простых чисел, но и действительно легче в обращении, как только вы к ней привыкаете.

¹ С тех пор как я впервые опубликовал эту главу, информированные читатели присылали мне формулы для использования в таких вычислениях. Если бы я знал их раньше, то мне было бы гораздо легче.

Или мы можем сформулировать иначе. Именно шестеричная система, по крайней мере в этом отношении, самая предпочтительная¹.

Глава 10

ПЯТЫЙ ПОСТУЛАТ ЕВКЛИДА

Некоторые мои статьи вызывают больше читательских комментариев, чем другие, и самые энергичные отклики получила та, в которой я перечислил ученых первой величины и которую завершил поименным списком десятка величайших ученых всех времен.

Естественно, посыпались письма с упреками в том, что я не назвал ряд ученых, отдав предпочтение другим. Я до сих пор получаю подобные письма, хотя со дня написания той статьи прошло семь с половиной лет.

Обычно я объясняю, что выбор десятки величайших ученых (Исаак Ньютон никогда не оспаривается) в значительной степени субъективен, и спорить тут, в общем, не о чем.

Недавно я получил письмо от читателя, утверждавшего, что Архимеда, одного из моей десятки, следует заменить Евклидом, в мою десятку не попавшим. Я ответил, как всегда, умиротворяюще, но объяснил, что Евклид был «всего лишь систематизатором», тогда как Архимед сделал очень важный вклад в развитие физики и математики.

Однако позже меня стали мучить угрызения совести. Я не изменил собственного мнения; по моему, Архимед все же выше Евклида, но выражение «всего лишь систематизатор» меня беспокоило. Не

¹ И пожалуйста, без стонов на галерке!

было необходимости добавлять к «систематизатору» «всего лишь».

За три столетия до Евклида (процветавшего около 300 года до нашей эры) греческие геометры трудились над доказательством различных геометрических теорем и во многом преуспели.

А вот Евклид создал цельную систему. Он начал с неких определений и предположений, а затем использовал их для доказательства нескольких теорем. Используя те определения и предположения в совокупности с уже доказанными им теоремами, он доказал еще несколько теорем и так далее, и так далее.

Насколько мы знаем, он первым выстроил детальную математическую систему, четко основанную на том, что бесполезно пытаться доказать все; важно начать с нескольких моментов, которые не могут быть доказаны, но могут быть приняты без доказательств, потому что не противоречат интуиции. Такие интуитивные предположения без доказательств называются «аксиомами».

Это само по себе великий интеллектуальный прогресс, но Евклид сделал кое-что большее. Он выбрал *хорошие* аксиомы.

Чтобы понять смысл моего утверждения, представьте, что вы сами захотели бы составить полный список аксиом, то есть список аксиом, достаточных для доказательства всех теорем, полезных в определенной области знания. С другой стороны, их не должно быть слишком много. Не следует стремиться к возможности доказывать все теоремы даже после того, как вы упустили одну или более аксиому из вашего списка, или доказывать одну или более вашу аксиому, используя оставшиеся аксиомы. И последнее, ваши аксиомы должны быть совместимы. То есть вы не должны использовать какие-то аксиомы, чтобы что-то доказать, а

затем использовать другие аксиомы, чтобы доказать *обратное*.

Две тысячи лет система аксиом Евклида отвечала всем требованиям. Никто никогда не испытывал необходимости добавить еще одну аксиому, и никому никогда не удавалось исключить или существенно изменить ни одну из них, что является отличным доказательством правоты Евклида.

Однако к концу XIX века, когда представления о математической стабильности ужесточились, осознали, что в системе Евклида много подразумеваемых допущений, то есть допущений, которые Евклид сделал, не отметив, что он их сделал, и что так же поступали — явно неосознанно — все его читатели.

Например, среди его первых теорем есть несколько, которые доказывают конгруэнтность двух треугольников (равенство по форме и размеру) с помощью представления о перемещении одного треугольника в пространстве таким образом, что он накладывается на другой. Однако здесь заранее предполагается, что при перемещении не меняются ни форма, ни размер. Конечно же не меняются, скажете вы. Ну, вы предполагаете, что не меняются, и я предполагаю, что не меняются, и Евклид предполагал, что не меняются, но Евклид об этом ни разу не упомянул.

И еще: Евклид предположил, что прямая линия может бесконечно тянуться в обоих направлениях, но он ни разу не сказал, что он это предположил.

Более того, он никогда не рассматривал такие фундаментальные свойства, как *порядок* точек в линии, и некоторые из его фундаментальных определений неадекватны.

Но не беспокойтесь. В последнем столетии под евклидову геометрию подвели незыблемую базу и, хотя система аксиом и определений изменилась,

евклидова геометрия осталась той же самой. Это просто означало, что аксиомы и определения Евклида *плюс* его не выраженные словами предположения вполне пригодны.

Теперь перейдем к аксиомам Евклида. Их было десять, и он разделил их на две группы по пять аксиом. Одна группа из пяти аксиом была названа «общие представления», поскольку они были общими для всех наук:

1) Предметы, равные одному и тому же предмету, также равны друг другу.

2) Если равные прибавить к равным, суммы равны.

3) Если равные вычесть из равных, остатки равны.

4) Предметы, совпадающие друг с другом, равны друг другу.

5) Целое больше части.

Эти «общие представления» кажутся такими простыми, такими очевидными, такими соответствующими интуиции, такими неспособными на противоречия, что как будто выражают абсолютную истину. Они словно путеводная звезда. Никким образом не чувствуя Вселенную, живя только в понятном мраке собственного разума, человек вдруг видит, что предметы, равные одному и тому же предмету, равны друг другу и всем остальным.

Тогда он с помощью аксиом Евклида мог бы вывести все геометрические теоремы и, следовательно, все фундаментальные свойства Вселенной из первых законов без всяких наблюдений.

Греки были так зачарованы происхождением всего математического знания из разума, что потеряли важный стимул, который мог бы привести к развитию экспериментальных наук. Среди греков попадались экспериментаторы, особенно Ктезибий

и Герон, но греческие ученые считали их труды скорее ремеслом, чем наукой.

В одном из диалогов Платона Сократ задает рабу вопросы о геометрической диаграмме и побуждает того отвечать и доказывать по ходу дела теорему. Так Сократ демонстрировал, что даже совершенно невежественный человек может извлечь истину из самого себя. Тем не менее только чрезвычайно умудренный опытом человек, Сократ, мог задать необходимые вопросы, а раба никак нельзя назвать невежественным хотя бы потому, что, годами выживая и воспринимая окружающее, он научился делать предположения исходя из наблюдений и примеров, о чем ни он сам, ни (по видимости) Сократ совершенно не подозревали.

Даже в 1800 году такие влиятельные философы, как Иммануил Кант, считали, что аксиомы Евклида представляют абсолютную истину.

Но так ли это? Станет ли кто-либо подвергать сомнению утверждение, что «целое больше части»? Поскольку 10 можно разбить на $6 + 4$, разве мы не абсолютно правы, предполагая, что 10 больше, чем 6 или 4? Если астронавт может поместиться в космический отсек, не правы ли мы, предполагая, что объем отсека больше, чем объем астронавта? Как мы можем усомниться в универсальной истине этой аксиомы?

Ну, любую последовательность чисел можно разделить на нечетные и четные числа, так что мы можем заключить, что в любой такой последовательности общее количество всех присутствующих чисел должно быть больше, чем общее количество четных чисел. И все же, если мы рассмотрим *бесконечный* список последовательных чисел, окажется, что общее количество всех чисел равно общему количеству всех четных чисел. В том, что называют «математикой бесконечности», именно эта ак-

сиома о том, что целое больше его части, просто неприменима.

И еще предположим, что два автомобиля движутся между пунктами А и В по идентичным дорогам. Обе дороги совпадают. Равны ли они? Не обязательно. Первый автомобиль движется из А в В, а второй — из В в А. Другими словами, две линии могут совпасть и все же не быть равными, поскольку направление одной может отличаться от направления другой.

Может быть, это просто болтовня. Можно ли приписывать линии направление? Ну да, можно. Линия, имеющая направление, называется вектором, а в векторной математике правила не совсем такие, как в обычной математике, и предметы могут совпадать, не будучи равными.

Короче говоря, аксиомы *не* представляют абсолютную истину, и очень вероятно, что такого явления, как абсолютная истина, вообще не существует. Аксиомы Евклида являются аксиомами не потому, что кажутся абсолютной истиной, родившейся из некоего внутреннего озарения, а только потому, что кажутся истинными в контексте реального мира.

И вот почему геометрические теоремы, вытекающие из аксиом Евклида, похоже, соответствуют тому, что мы называем реальностью. Они начались с того, что мы называем реальностью.

Можно начать с любой группы аксиом, при условии что они взаимно непротиворечивы, и разработать систему теорем, совместимых с этими аксиомами и друг с другом, даже если они *не* совместимы с тем, как мы представляем себе реальный мир. От этого «математика случайностей» не становится менее «истинной» чем математика, начавшаяся с аксиом Евклида, только, возможно, менее полезной. На самом деле «математика случайностей» в определенных областях, таких как математика беско-

печности или векторов, может быть *более* полезной, чем обычная математика «здравого смысла».

И даже в этом случае мы не должны смешивать «полезное» и «истинное». Даже если аксиоматическая система слишком причудлива, чтобы оказаться полезной в любом мыслимом практическом смысле, мы тем не менее ничего не можем сказать об ее «истинности». Если она логична, нам больше нечего требовать от любой мыслимой системы. «Истина» и «реальность» — теологические, а не научные термины.

Однако вернемся к аксиомам Евклида. Пока я изложил только пять «общих представлений». В списке было еще пять аксиом, особо применимых к геометрии и названных постулатами. Первый из этих постулатов гласил:

1) Из одной любой точки в любую другую точку можно провести прямую линию.

Это утверждение кажется абсолютно допустимым, но вы уверены? Можете ли вы доказать, что возможно провести прямую линию от Земли до Солнца? *Если бы* вы каким-то образом смогли безопасно встать на Солнце, неподвижно удерживая Землю на орбите, протянуть веревку от Земли до Солнца и абсолютно туго натянуть ее, то эта веревка представляла бы прямую линию от Земли до Солнца. Вы уверены в том, что это приемлемый «мысленный эксперимент», и я в этом уверен, но мы только *допускаем*, что так может быть. Мы никогда не сможем это продемонстрировать или доказать математически.

Да, между прочим, а что такое прямая линия? Я просто сделал предположение, что если абсолютно туго натянуть веревку, то она примет форму, которую мы признали бы как то, что называем прямой линией. Но что представляет собой эта форма? Самое лучшее, что мы можем сказать:

«Прямая линия — это нечто очень-очень тонкое и очень-очень прямое» или, если вспомнить Гертруду Стайн, «прямая линия — это прямая линия, это прямая линия...».

Евклид определяет прямую линию как «линию, которая лежит ровно с точками на самой себе», но мне совсем не хотелось бы даже пытаться объяснить значение этого определения студенту, начинающему изучать геометрию.

Другое определение гласит: прямая линия — это кратчайшее расстояние между двумя точками. Однако если веревка натянута абсолютно туго, она никак не может попасть из точки на одном конце в точку на другом конце более коротким путем, так что сказать, что прямая линия — это кратчайшее расстояние между двумя точками — все равно что сказать, что она имеет форму абсолютно туго натянутой струны, и все еще у нас остается вопрос: «А что это за форма?»

В современной геометрии прямые линии вовсе не имеют определения. В сущности, говорится вот что: давайте назовем линией то, что имеет следующие свойства в связи с другими неопределенными терминами, такими как «точка», «плоскость», «между», «непрерывная» и так далее. А затем перечисляются свойства.

Как бы то ни было, привожу оставшиеся постулаты Евклида:

2) Ограниченную прямую линию можно бесконечно продолжить прямой линией.

3) Окружность можно описать любой точкой как центром и любым расстоянием как радиусом.

4) Все прямые углы равны.

5) Если две прямые образуют при пересечении с третьей прямой внутренние односторонние углы,

сумма величин которых меньше двух прямых углов, то эти две прямые, продолженные до бесконечности, обязательно пересекаются, причем именно с той стороны от третьей прямой, по которую расположены углы, вместе меньшие двух прямых углов.

Уверен, вы сразу кое-что заметили. Из всех десяти аксиом Евклида только одна — пятый постулат — длинное и труднопроизносимое предложение; и только одна — пятый постулат — на первый взгляд бессмысленна.

Возьмем любого интеллигентного человека, изучавшего арифметику и слышавшего о прямых линиях и окружностях, и будем формулировать ему десять аксиом одну за другой, давая ему на размышления мгновение. И каждый раз из первых девяти он воскликнет: «Конечно!» А затем продекламируем ему пятый постулат, и, будьте уверены, он скажет: «Что-что?»

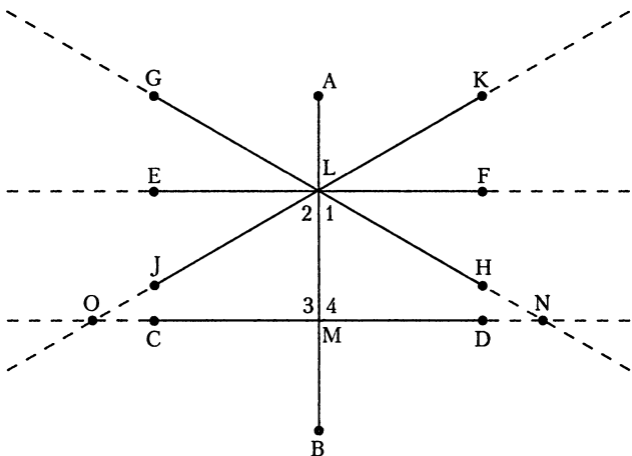
И не скоро он поймет, о чем идет речь. Я и сам не стал бы ничего объяснять без диаграммы.

Рассмотрим две сплошные линии на диаграмме: линию, идущую от точки С к точке D через точку M (назовем ее линией CD после конечных точек), и линию, идущую через точки G, L и H (линию GH). Третья линия, проходящая через точки A, L, M и B (линия AB), пересекает и GH, и CD, образуя с обеими линиями углы.

Если предположить, что линия CD идеально горизонтальна, а линия AB идеально вертикальна, то все четыре угла, образованные на пересечении этих двух линий (углы CMB, BMD, DML и LMC), — прямые и равные (по постулату 4). В частности, углы DML и LMC, которые на диаграмме я обозначил как 3 и 4, равны и оба прямые.

(Я не потрудился объяснить, что значит «идеально горизонтальна», или «идеально вертикаль-

на», или «пересекает»; не стал объяснять, почему пересечение идеально горизонтальной линии идеально вертикальной линией дает четыре прямых угла, но я и не притворяюсь скрупулезным. Все это



можно уточнить, но только пришлось бы болтать гораздо больше, чем я готов.)

Теперь рассмотрим линию GH . Она *не* идеально горизонтальна. Это означает, что углы, которые она образует при своем пересечении (я не дал определения и «пересечению») с линией AB , не прямые и не все равные. Можно доказать, что углы ALH и GLB равны и что углы HLB и GLA равны, но любой угол из первой пары не равен любому углу из второй пары. В частности, угол GLB (обозначенный 2) не равен углу HLB (обозначенному 1).

Предположим, что мы провели линию EF через точку L , и линия EF (как и линия CD) идеально горизонтальна. В таком случае при пересечении с линией AB получаются четыре равных прямых угла. В частности, углы FLB и ELB — прямые. Од-

нако угол HLB находится внутри угла FLB (а что означает «находится внутри?»), и еще остается место. Так как угол HLB является только частью угла FLB , а тот прямой, угол HLB (угол 1) меньше прямого угла, по пятому «общему представлению».

Точно так же, сравнивая угол ELB , как известно, прямой угол, с углом GLB (углом 2), мы можем доказать, что угол 2 больше прямого угла.

«Внутренними углами» диаграммы являются те, что лежат на стороне линии GH , смотрящей на линию CD , и те, что лежат на стороне линии CD лицом к линии GH . Другими словами, это углы 1, 2, 3 и 4.

В пятом постулате упоминаются «внутренние односторонние углы», то есть 1 и 4 лежат с одной стороны, а 2 и 3 — с другой. Поскольку мы знаем, что углы 3 и 4 — прямые, 1 — меньше прямого угла и 2 — больше прямого угла, то мы можем сказать, что внутренние углы с одной стороны, 1 и 4, в сумме меньше двух прямых углов, в то время как внутренние углы с другой стороны в сумме больше двух прямых углов.

Пятый постулат утверждает, что если линии GH и CD продолжить, то они пересекутся с той стороны, где расположены внутренние углы, которые в сумме меньше двух прямых углов. И действительно, если вы посмотрите на диаграмму, то увидите, что если линии GH и CD продолжить в обе стороны (пунктирные линии), то они пересекутся в точке N на стороне внутренних углов 1 и 4. С другой стороны они будут расходиться все дальше друг от друга и точно никогда не пересекутся.

Но если вы проведете линию JK через точку L , ситуация изменится на противоположную. Угол 2 станет меньше прямого угла, а угол 1 станет больше прямого угла (где угол 2 теперь угол JLB , а

угол 1 теперь угол KLB). В этом случае внутренние углы 2 и 3 составят в сумме менее двух прямых углов, а внутренние углы 1 и 4 дадут в сумме больше двух прямых углов. Если линии JK и CD продолжить (пунктирные линии), то они пересекутся в точке O со стороны внутренних углов 2 и 3. С другой стороны они будут просто расходиться все дальше и дальше.

Теперь, когда я подробно объяснил пятый постулат (и то был не очень скрупулезен), может, вам захотелось бы сказать: «О да, конечно. Несомненно! Это очевидно!»

Возможно, но если что-то очевидно, то оно не нуждалось бы в сотне слов объяснений. Мне не пришлось тратить время и силы на другие девять аксиом, не так ли?

И потом, *объяснив* пятый постулат, *доказал* ли я его? Нет. Я только растолковал значение слов, а потом указал на диаграмму и сказал: «И действительно, если вы посмотрите на диаграмму, то увидите...»

Но это только одна диаграмма. На ней изображена идеально вертикальная линия, пересекающая две линии, одна из которых идеально горизонтальна. А что, если ни одна из этих линий не вертикальна или не горизонтальна и ни один из внутренних углов не является прямым? Пятый постулат применяется к *любой* линии, пересекающей две любые линии, а этого я точно не доказал.

Я могу нарисовать миллион разных диаграмм и доказать, что в каждом отдельном случае постулат справедлив, но этого недостаточно. Я должен показать, что он остается в силе, а этого нельзя сделать с помощью диаграмм. Диаграмма может лишь облегчить понимание доказательства; само же доказательство должно быть выведено логически из более фундаментальных уже доказанных или принятых предпосылок. Я это не сделал.

Теперь рассмотрим пятый постулат с точки зрения движущихся линий. Предположим, что линия GH поворачивается вокруг L , как точки вращения, таким образом, что становится все ближе и ближе к совпадению с линией EF . (Остается ли прямой прямая линия, поворачивающаяся таким образом? Мы можем это только *предположить*.) Когда линия GH поворачивается к линии EF , точка пересечения линии CD (точка N) сдвигается все дальше и дальше вправо.

Если бы вы начали с линии JK и поворачивали бы ее так, чтобы она в конце концов совпала с линией EF , точка пересечения O сдвигалась бы все дальше и дальше влево. Если вы рассмотрите диаграмму и сделаете на ней несколько пометок (если хотите), то сами в этом убедитесь.

Однако рассмотрим саму линию EF . Когда линия GH наконец повернулась так, что совпала с линией EF , мы можем сказать, что точка пересечения N сместилась на бесконечное расстояние вправо (что бы мы там ни понимали под выражением «бесконечное расстояние»), и, когда линия JK совпала с линией EF , точка пересечения O сместилась на бесконечное расстояние влево. Таким образом мы можем сказать, что линия EF и линия CD пересеклись в *двух* точках: в одной на бесконечном расстоянии вправо и в одной на бесконечном расстоянии влево.

Или давайте посмотрим иначе. Линия EF , будучи идеально горизонтальной, пересекается с линией AB и образует четыре равных прямых угла. В таком случае углы 1, 2, 3 и 4 — *все* прямые и все равные. Углы 1 и 4 в сумме равны двум прямым углам, как и углы 2 и 4.

Однако пятый постулат утверждает, что пересечение происходит с той стороны, где два внутренних угла в сумме *меньше*, чем два прямых угла, и не может быть пересечения ни с какой стороны.

Теперь у нас имеется два набора аргументов, доказывающих, что, во-первых, линии EF и CD пересекаются в двух точках, расположенных на бесконечном расстоянии от них, и, во-вторых, линии EF и CD не пересекаются вовсе. Обнаружили ли мы противоречие и тем самым доказали, что с набором аксиом Евклида что-то неправильно?

Во избежание противоречия мы можем сказать, что пересечение на бесконечном расстоянии эквивалентно отсутствию пересечения вообще. Одно и то же можно выразить разными словами. Согласие с тем, что «выражение a » равно «выражению b », в этом случае совместимо со всей остальной геометрией, так что нам это может сойти с рук.

Давайте теперь скажем, что если такие две линии, как EF и CD , которые, даже будучи продолженными на любое *конечное* расстояние, каким бы большим оно ни было, не пересекаются друг с другом, то они «параллельны».

Очевидно, что через точку L можно провести только одну линию, параллельную линии CD , и это будет линия EF . Любая другая линия, проведенная через точку L , которая не совпадает с линией EF (даже слегка), будет линией типа линии GH или линии JK с внутренним углом с одной или с другой стороны меньше прямого угла. Это доказательство — ловкость рук, оно не является строгим, но позволяет нам увидеть смысл и сказать: имея прямую линию и точку вне этой линии, через эту точку возможно провести одну, и только одну прямую линию, параллельную данной линии.

Это утверждение абсолютно эквивалентно пятому постулату Евклида. Если убрать пятый постулат Евклида и заменить его этим утверждением, вся структура евклидовой геометрии даже не шелохнется.

Версия постулата, затрагивающая параллельные линии, *звучит* яснее, ее легче понять, чем формулировку Евклида, потому что даже начинающий студент имеет некоторое представление о том, как выглядят параллельные линии, хотя, возможно, не имеет никакого представления о внутренних углах. Вот почему в элементарных книгах по геометрии этот постулат приводится обычно в «параллельной» форме.

На самом деле постулат в этой форме вовсе не проще и не яснее, ибо, как только вы попытаетесь объяснить, что имеете в виду под словом «параллельный», вам снова придется затрагивать внутренние углы. Или, стремясь этого избежать, вы натолкнетесь на проблему рассуждений о линиях бесконечной длины, о том, что пересечение на бесконечном расстоянии эквивалентно отсутствию пересечения, а это еще хуже.

Но минуточку, только то, что я не доказал пятый постулат, вовсе не значит, что его невозможно доказать. Возможно, какой-то аргумент, чрезвычайно длинный, тонкий и гениальный, докажет пятый постулат с помощью четырех других постулатов и пяти общих представлений (или с помощью какой-нибудь дополнительной аксиомы, не включенной в список, но который, однако, гораздо проще и «очевиднее», чем пятый постулат).

Увы, нет. Две тысячи лет математики снова и снова пытались доказать пятый постулат через другие аксиомы просто потому, что этот проклятый пятый постулат так длинен и так запутан, что кажется невозможным поверить в то, что он может быть аксиомой. Они всегда терпели неудачи, и, похоже, так и *должно* быть. Пятый постулат просто не содержится в других аксиомах, как и ни в каком

списке аксиом, полезных в геометрии и более простых, чем он сам.

На самом деле можно поспорить с тем, что пятый постулат является величайшим достижением Евклида. На Евклида нашло озарение, и он понял, что с помощью девяти коротких и вполне «очевидных» аксиом не сможет доказать пятый постулат, но и обойтись без него не сможет, а потому, несмотря на то что пятый постулат длинен и сложен, Евклиду *пришлось включить его в свои предположения*.

Так и стоял незыблемо пятый постулат две тысячи лет: длинный, нескладный, запутанный. Он мозолил глаза, как изъян в безупречности, как молчаливый укор во всем остальном безупречной линии доказательств. Он доводил математиков до бешенства.

И вот в 1773 году итальянский священник Джироламо Сачери нашел самое блестящее решение, касающееся пятого постулата, какое приходило кому-либо в голову со времен Евклида, но ему не хватило смекалки справиться с этим решением.

Давайте займемся им в следующей главе.

Глава 11

ИСТИНА ПЛОСКОСТИ

Когда я погружаюсь в написание своих научных очерков, иногда возникают проблемы. Например, я наблюдал, как приятель, с которым я обедал, попробовав кусочек, стал досаливать, попробовал еще кусочек и удовлетворенно заявил: «Так гораздо лучше».

Я поежился и сказал: «На самом деле ты хотел сказать: «Так мне нравится гораздо больше». Сказав просто «так гораздо лучше», ты делаешь не-

обоснованное допущение, что еда может быть объективно лучше или хуже по вкусу, и следующее допущение, что твои личные вкусовые ощущения могут быть неоспоримым руководящим принципом объективной ситуации».

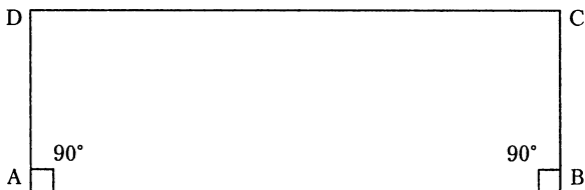
Я думаю, что еще немного, и мне пришлось бы съесть то идеально посоленное блюдо, и поделом мне. Но видите ли, беда в том, что я только что написал предыдущую главу и думал в основном о допущениях.

Так что вернемся к главному. Мы рассматриваем пятый постулат Евклида, который я здесь повторю, чтобы вам не перелистывать страницы: если две прямые образуют при пересечении с третьей прямой внутренние односторонние углы, сумма величин которых меньше двух прямых углов, то эти две прямые, продолженные до бесконечности, обязательно пересекаются, причем именно с той стороны от третьей прямой, по которую расположены углы, вместе меньшие двух прямых углов.

Все другие аксиомы Евклида чрезвычайно просты, но Евклид явно сознавал, что этот пятый постулат, на первый взгляд сложный, не может быть доказан из других аксиом и таким образом сам должен быть включен в список аксиом.

Две тысячи лет после Евклида другие геометры пытались доказать, что Евклид слишком быстро сдался, и пытались найти какой-нибудь остроумный метод доказательства пятого постулата из других аксиом, чтобы можно было исключить его из списка — ведь он был слишком длинным, слишком сложным для понимания и с первого взгляда не похожим на хорошую аксиому.

Можно подойти к этой проблеме, рассмотрев следующий четырехугольник:



Дано, что в этом четырехугольнике два угла $\angle DAB$ и $\angle ABC$ прямые, а длина стороны AD равна длине стороны BC . Из этого можно доказать, что сторона DC равна стороне AB и что углы $\angle ADC$ и $\angle DCB$ — тоже прямые (так что четырехугольник на самом деле прямоугольник), *если* использовать пятый постулат Евклида.

Если пятый постулат Евклида *не* использовать, то тогда, с помощью только других аксиом, можно доказать лишь то, что углы $\angle ADC$ и $\angle DCB$ равные, но не то, что они прямые.

Тогда возникает вопрос, возможно ли доказать, что из равенства углов $\angle ADC$ и $\angle DCB$ следует и то, что они прямые. И если кто-нибудь это доказал бы, то есть что четырехугольник $ADCD$ — прямоугольник, то пятый постулат верен. Это было бы доказано только из других аксиом, и больше не было бы необходимости включать в список аксиом пятый постулат Евклида.

Такую попытку впервые предприняли арабы, продолжавшие традиции греческой геометрии, пока в Западной Европе царил темное Средневековье. Первым, кто нарисовал этот четырехугольник и трудился над его прямыми углами, был не кто иной, как Омар Хайям (1050—1123)¹.

¹ Он написал искусные четверостишия, которые Эдвард Фицджеральд еще искуснее в 1859 году перевел на английский, навеки прославив Омара как поэта-агностика и гедониста, но на самом деле его следовало бы помнить как великого математика и астронома.

Омар доказал, что если углы ADC и DCB равны, то существуют три возможности: 1) каждый из них прямой, 2) каждый из них меньше прямого, то есть острый, 3) каждый из них больше прямого, то есть тупой.

Затем он, основываясь на предположении, что две сходящиеся линии обязательно должны пересечься, показал, что случаи острых и тупых углов абсурдны.

Конечно, с точки зрения здравого смысла разумно предположить, что две сходящиеся линии должны пересечься, но, к сожалению, разумно или нет, это предположение математически эквивалентно пятому постулату Евклида. Следовательно, Омар Хайям в конце концов «доказал» пятый постулат, предположив, в качестве одного из условий доказательства, что он верен. Это называется или «прийти к тому, с чего начали», или «привести в качестве аргумента положение, которое само нуждается в доказательстве», но, как бы это ни называлось, в математике подобное не допускается.

Другой арабский математик, Назир Эддин (1201—1274), сделал подобную попытку с четырехугольником, воспользовавшись другим и более сложным допущением, чтобы исключить случаи острых и тупых углов. Увы, его допущение также математически эквивалентно пятому постулату Евклида.

Что снова приводит нас к итальянцу Джироламо Сачери (1667—1733), о котором я упоминал в конце предыдущей главы и который был профессором математики Пизанского университета и иезуитским священником. Он знал о трудах Назира Эддина и тоже занимался четырехугольником. Однако Сачери ввел еще кое-что новое, о чем никто не подумал за две тысячи лет в связи с пятым постулатом Евклида.

До него либо пренебрегали пятым постулатом Евклида, чтобы посмотреть, что из этого получится, либо делали допущения, на поверку оказывавшиеся эквивалентом пятого постулата Евклида. Сачери начал с предположения о том, что пятый постулат Евклида *не верен*, и заменил его неким другим постулатом, ему противоречащим. Затем он планировал сделать попытку построить геометрию, основанную на других аксиомах Евклида плюс «альтернативный пятый», пока не наткнется на противоречие (например, доказывающее, что некая теорема одновременно и верна и неверна).

По достижении этого противоречия «альтернативный пятый» пришлось бы выбросить. Если таким образом исключить каждый возможный «альтернативный пятый», то тогда пятый постулат Евклида неизбежно оказывался верным. Этот метод доказательства теоремы демонстрацией абсурдности всех других возможностей абсолютно приемлем в математике¹, и Сачери был на верном пути.

Вооружившись этой системой, Сачери начал с допущения, что каждый из углов ADC и DCB больше прямого угла. С этим допущением в совокупности со всеми аксиомами Евклида *кроме* пятого постулата он занялся тем, что мы можем назвать «тупоугольной геометрией». Он быстро пришел к противоречию, то есть доказал, что тупоугольная геометрия не может быть верной и что углы ADC и DCB не могут быть больше прямого угла.

Это достижение было столь важным, что четырехугольник, впервые использованный Омаром Хайямом в связи с пятым постулатом Евклида, теперь называется четырехугольник Сачери.

¹ Это эквивалентно знаменитому афоризму Шерлока Холмса: когда исключается все невозможное, оставшееся, даже самое невероятное, должно быть правдой.

Воодушевившись, Сачери занялся «остроугольной геометрией», допустив, что углы ADC и DCB каждый меньше прямого угла. Должно быть, он начал работу с легким сердцем, уверенный, что, как и в тупоугольной геометрии, быстро найдет противоречие в остроугольной геометрии. Если бы так случилось, пятый постулат Евклида оказался бы доказанным и его «геометрия прямого угла» больше не нуждалась бы в таком неудобно длинном утверждении в качестве аксиомы.

Переходя от утверждения к утверждению в своей остроугольной геометрии, Сачери все больше тревожился, ибо не встречал никаких противоречий. Все возможнее казалось построить логичную геометрию, основанную по меньшей мере на одной аксиоме, прямо противоречащей аксиоме Евклида. Результатом бы стала неевклидова геометрия, как будто противоречащая здравому смыслу, но внутренне последовательная и потому математически обоснованная.

Мгновение Сачери парил на самом краю математического бессмертия, но отшатнулся.

Он не смог! Признание неевклидовой геометрии требовало слишком большой смелости. Ученые столь ошибочно путали евклидову геометрию с абсолютной истиной, что любое опровержение его теории переположило бы умы и сердца европейских мыслителей. Усомниться в Евклиде — все равно что усомниться в абсолютной истине, и если принять, что в евклидовой геометрии нет абсолютной истины, то не следует ли из этого, что абсолютной истины нет нигде? А поскольку самая твердая заявка на абсолютную истину исходит от религии, то нельзя ли расценить нападение на Евклида как нападение на Бога?

Как математик, Сачери несомненно обладал огромным потенциалом, но он также был иезуитским

священником и человеком, так что ему не хватило смелости, и он пошел на великое отречение¹. Постепенно подведя остроугольную геометрию к точке, за которой пути уже не было, он вообразил, что нашел несоответствие там, где на самом деле его не было, и с величайшим облегчением сделал вывод, что доказал пятый постулат Евклида. В 1733 году он опубликовал книгу о своих открытиях, озаглавленную (по-английски) *Euclid Cleared of Every Flaw*, и в том же году умер.

Отречение лишило Сачери бессмертия и обрекло на забвение. Его книга прошла практически незамеченной, пока позднее не привлекла внимание итальянского математика Эугенио Белтрами (1835—1900). Неудачей Сачери воспользовались другие. Теперь мы знаем о Сачери лишь то, что он подошел к важному математическому открытию за столетие до кого бы то ни было, но ему не хватило смелости его сделать.

Давайте сделаем следующий шаг вперед почти на столетие к немецкому математику Карлу Ф. Гауссу (1777—1855). Можно легко доказать, что Гаусс был величайшим математиком всех времен. Еще юношей он своим талантом удивил Европу и весь научный мир.

Около 1815 года он занялся пятым постулатом Евклида и пришел к тому же выводу, что и Евклид: пятый постулат *необходимо* сделать аксиомой, потому что его *нельзя* доказать из других аксиом. Затем Гаусс пришел к заключению, от которого уклонился Сачери: существуют логичные неевклидовы геометрии, в которых альтернативная аксиома заменяет пятый постулат.

¹ Я не виню его. На его месте я несомненно поступил бы так же. Просто очень жаль.

А потом и Гауссу не хватило смелости опубликовать свои выводы, и здесь я лишаю его своих симпатий. Ситуация была совсем другой. Гаусс был бесконечно известнее Сачери; Гаусс не был священником; Гаусс жил в такое время и в такой стране, где церковь не была всеильна и не внушала такой страх. Гаусс, несмотря на всю свою гениальность, оказался обыкновенным трусом.

И это приводит нас к русскому математику Николаю Ивановичу Лобачевскому (1793—1856)¹. В 1826 году Лобачевский тоже начал задаваться вопросом, может ли геометрия не быть евклидовой и оставаться последовательной. В поисках ответа он разработал теоремы остроугольной геометрии, как Сачери веком ранее, а в 1829 году сделал то, чего не сделали ни Сачери, ни Гаусс. Он *не* уклонился и *опубликовал*. К несчастью, его статья на русском языке под названием «О принципах геометрии» увидела свет в местном периодическом журнале (он работал в Казанском университете, в российской глубинке).

А кто читает по-русски? Лобачевский оставался в неизвестности до 1840 года, пока не опубликовал свой труд на немецком, и вот тогда привлек к себе внимание всего математического мира.

Правда, тем временем венгерский математик Янош Болий (1802—1860) занимался практически тем же самым. Болий — одна из самых романтических фигур в истории математики, поскольку он еще увлекался игрой на скрипке и дуэлями на шпагах — как и подобает венгерскому аристократу. Рассказывали, что как-то раз он дрался с тринадцатью фехто-

¹ Николай Иванович Лобачевский упоминается в одной из сатирических песен Тома Лехрера, и любому почитателю Тома Лехрера (к которым отношусь и я) весьма странно видеть это имя в связи с серьезными проблемами, но Лехрер, по профессии математик, воспользовался реальным именем.

вальщиками подряд, победил их всех, а в перерывах между боями играл на скрипке.

В 1831 году отец Болия издал книгу по математике. Юный Болий к тому времени уже несколько лет размышлял над пятым постулатом Евклида и убедил отца включить в книгу двадцатишестистраничное приложение, в котором были описаны принципы остроугольной геометрии. Это произошло через два года после публикации Лобачевского, но все это время никто не слышал о русском математике, и ныне честь открытия неевклидовой геометрии принадлежит обоим: и Лобачевскому, и Болию.

Как только Болий опубликовал свое открытие на немецком, Гаусс о нем узнал. Его похвала много бы значила для юного Болия, но Гауссу опять не хватило смелости выразить одобрение в печати, однако он похвалил работу Болия словесно. А затем — он просто не смог удержаться — рассказал Болию, что несколькими годами ранее вывел то же самое, и показал юноше свои записи.

Гаусс мог этого и не делать. Его репутация была непоколебима; и без неевклидовой геометрии он сделал столько, что хватило бы на дюжину математиков. А уж не осмелившись опубликовать свое открытие, он мог бы сохранить порядочность и не оспаривать заслуги Болия. Но нет. Несмотря на всю свою гениальность, Гаусс порой был способен на низость.

Бедняга Болий был так смущен и унижен разоблачением Гаусса, что больше никогда не занимался математикой.

А что там с тупоугольной геометрией? Занимаясь ею, Сачери запутался в противоречиях и бросил дальнейшие исследования. И все же, когда была установлена справедливость неевклидовой геометрии, не открылся ли путь к реабилитации и тупоугольной геометрии?

Да, открылся, но только ценой еще более радикального разрыва с Евклидом. Изучая тупоугольную геометрию, Сачери воспользовался невысказанным допущением, которое сделал и сам Евклид, а именно что линия может быть бесконечной. Это допущение не входило в противоречие ни с остроугольной геометрией, ни с прямоугольной геометрией (евклидовой), но создавало трудности в тупоугольной геометрии.

Но проигнорируем и это. Предположим, что, несмотря на «здравый смысл», вам пришлось допустить, будто любая линия должна иметь некую максимальную конечную длину. В этом случае все противоречия тупоугольной геометрии исчезали и появлялась вторая справедливая разновидность неевклидовой геометрии. Впервые это доказал в 1854 году немецкий математик Георг Ф. Риман (1826—1866).

Итак, теперь у нас есть три сорта геометрии, которые мы можем различать с помощью утверждений, эквивалентных разновидности пятого постулата, использованного в каждом случае:

А) Остроугольная геометрия (неевклидова): через точку, не лежащую на данной линии, можно провести бесконечное количество линий, параллельных данной линии.

Б) Прямоугольная геометрия (евклидова): через точку, не лежащую на данной линии, можно провести одну, и только одну линию, параллельную данной линии.

В) Тупоугольная геометрия (неевклидова): через точку, не лежащую на данной линии, нельзя провести ни одной линии, параллельной данной линии.

Вы можете обозначить различия другим и эквивалентным способом:

А) Остроугольная геометрия (неевклидова): сумма углов треугольника меньше 180° .

Б) Прямоугольная геометрия (евклидова): сумма углов треугольника равна 180° .

В) Тупоугольная геометрия (неевклидова): сумма углов треугольника больше 180° .

Теперь вы можете спросить: но какая же геометрия *правильная (верная, истинная)*?

Если мы определяем «правильная» как внутренне логичная, тогда все три геометрии равно правильные.

Конечно, они несовместимы друг с другом, и, возможно, только одна соответствует реальности. Следовательно, мы могли бы спросить: какая геометрия соответствует свойствам реальной вселенной?

И опять ответ — все соответствуют.

Рассмотрим, например, проблему путешествия из точки А на поверхности Земли в точку В на поверхности Земли и предположим, что мы хотим попасть из А в В по кратчайшему расстоянию.

Чтобы упростить результаты, давайте сделаем два допущения. Первое — допустим, что Земля — идеально гладкая сфера. На самом деле это почти правда, и мы без особых искажений можем исключить горы и долины и даже экваториальную выпуклость.

Второе — допустим, что в наших передвижениях мы ограничены поверхностью сферы и не можем, например, закопаться в ее глубину.

Чтобы определить кратчайшее расстояние от А до В на поверхности Земли, мы могли бы протянуть нитку из одной точки в другую и туго ее натянуть. Если бы мы сделали это между двумя точками на плоскости, то есть на поверхности, похожей на бесконечно вытянутую во все стороны плоскую доску, результат был бы тем, что мы обычно называем «прямой линией».

Однако на поверхности сферы результат — кривая, и все же эта кривая является аналогом прямой линии, ведь эта кривая — кратчайшее расстояние между двумя точками на поверхности сферы. Трудно заставить себя принять кривую, как аналог прямой линии, потому что всю жизнь мы думали «прямо». Тогда воспользуемся другим словом. Назовем кратчайшее расстояние между двумя точками на любой данной поверхности «геодезической линией»¹.

На плоскости геодезическая линия — прямая линия; на сфере геодезическая линия — кривая и, в частности, дуга «большой окружности». Такая большая окружность имеет длину, равную окружности сферы, и лежит в плоскости, проходящей через центр сферы. На Земле примером большой окружности являются экватор и все меридианы. На поверхности любой сферы можно провести бесконечное количество больших окружностей. Если вы выберете на сфере любые две точки и свяжете каждую пару туго натянутой нитью, то в каждом случае вы получите дугу другой большой окружности.

Вы видите, что на поверхности сферы не существует такого понятия, как геодезическая линия бесконечной длины. Если ее продолжать, она, обойдя вокруг сферы, просто встретится сама с собой и станет замкнутой кривой. На поверхности Земли геодезическая линия не может быть длиннее 25 000 миль.

Более того, любые две геодезические линии, проведенные на сфере, если их бесконечно продолжать, пересекутся, и пересекутся в двух точках. На

¹ «Геодезическая линия» происходит от греческих слов, означающих «разделить Землю», поскольку любая геодезическая линия на поверхности Земли, если ее продлить так далеко, как только возможно, делит поверхность Земли на две равные части.

пример, на поверхности Земли два любых меридиана встречаются на Северном полюсе и на Южном полюсе. Это означает, что на поверхности сферы через любую точку на данной геодезической линии нельзя провести геодезическую линию, параллельную данной геодезической линии. Через точку нельзя провести ни одной геодезической линии, которая рано или поздно не пересеклась бы с данной геодезической линией.

И опять же, если вы нарисуете на поверхности сферы треугольник, каждая сторона которого — арка большого круга, то углы его дадут в сумме больше 180° . Если у вас есть глобус, представьте треугольник с одной из его вершин на Северном полюсе, со второй на экваторе и 10° западной долготы, а с третьей — на экваторе и 100° западной долготы. Вы получите равносторонний треугольник, каждый угол которого равен 90° . Сумма углов этого треугольника равна 270° .

Если считать геодезические линии аналогами прямых линий, то это в точности та геометрия, которую разработал Риман. Это геометрия конечных линий, непараллельных линий и треугольников, сумма углов которых больше 180° . То, что мы называли тупоугольной геометрией, можно также назвать геометрией сферы. А то, что мы называли прямоугольной геометрией или евклидовой геометрией, также можно назвать геометрией плоскости.

В 1865 году Эугенио Белтрами привлек внимание к сфере, названной псевдосферой, которая похожа на два фунтика, соединенных широкими основаниями, и каждый фунтик продлен бесконечно в каждую сторону, все сужаясь, но никогда совершенно не закрываясь. Геодезические линии, про-

веденные на поверхности псевдосферы, удовлетворяют требования остроугольной геометрии.

Геодезические линии на псевдосфере бесконечно длинны и могут продолжаться бесконечно, не пересекаясь, и, следовательно, быть параллельными. Фактически, возможно провести на поверхности псевдосферы две геодезические линии, которые пересекаются, и все же ни одна из них не пересекает третью геодезическую линию, лежащую вне этих двух¹. На самом деле, поскольку между двумя пересекающимися геодезическими линиями можно провести бесконечное количество геодезических линий, пересекающихся в одной и той же точке, через любую точку проходит бесконечное число геодезических линий, каждая из которых параллельна другой геодезической линии, не проходящей через эту точку.

Другими словами, остроугольную геометрию можно представить как геометрию псевдосферы.

А теперь — учитывая, что все три геометрии равно справедливы при обстоятельствах, подходящих каждой, — какая лучше всех описывает Вселенную в целом?

Ответить на этот вопрос не всегда легко. Если вы нарисуете треугольник с геодезическими линиями заданной длины на маленькой сфере, а затем снова на большой сфере, сумма углов треугольника будет в каждом случае больше 180° , однако на маленькой сфере эта сумма будет больше, чем на большой.

¹ Это кажется бессмысленным, потому что мы привыкли думать в плоскостных представлениях, где геодезические линии — прямые линии и где две пересекающиеся линии не могут быть параллельными третьей линии. На псевдосфере геодезические линии — кривые и изгибаются так, что две параллельные линии возможны.

Если вы представите сферу, которая становится все больше и больше, то сумма углов треугольника заданного размера на ее поверхности будет все ближе и ближе к 180° и в конце концов даже самые точные измерения не обнаружат разницы. Короче говоря, маленький участок очень большой сферы почти такой же плоский, как плоскость, и уже невозможно найти отличия.

Например, это справедливо в отношении Земли. Земля представляет собой такую большую сферу, ее маленькие участки выглядят плоскими, и человечество очень долго привыкало к тому, что живет на сфере именно потому, что земля казалась плоской.

Похожая проблема возникает и в связи со Вселенной.

Свет распространяется в космосе от точки к точке; от Солнца к Земле или от одной дальней галактики к другой, проходя расстояния во много раз большие, чем возможны на поверхности Земли.

Мы допускаем, что, проходя расстояния в световые годы, свет распространяется по прямой линии, но конечно же он распространяется по геодезической линии, которая может быть прямой линией, а может и не быть. Если Вселенная подчиняется евклидовой геометрии, геодезическая линия — прямая линия. Если Вселенная подчиняется какой-нибудь неевклидовой геометрии, тогда геодезические линии — кривые того или иного рода.

Гауссу пришло в голову образовывать треугольники из лучей света, распространяющихся в пространстве от одной горной вершины до другой, и измерять суммы полученных углов. Конечно, эти суммы оказались равными где-то около 180° , но были ли они равны *точно* 180° ? Это определить было невозможно. Если Вселенная представляет сферу диаметром в миллионы световых лет и если световые лучи распространяются по изгибам этой

сферы, ни одно представимое прямое измерение не сможет сегодня обнаружить крошечные отклонения от суммы углов, превышающей 180° .

Однако в 1916 году Эйнштейн разработал общую теорию относительности и обнаружил, что для объяснения механизма гравитации приходится допустить существование Вселенной, в которой свет (и все остальное) распространяется по неевклидовым геодезическим линиям.

Согласно теории Эйнштейна, Вселенная — неевклидова и на самом деле является примером тупоугольной геометрии.

Короче говоря, евклидова геометрия — далеко не абсолютная и вечная истина, коей ее считали две тысячи лет, а всего лишь жестко ограниченная и абстрактная геометрия плоскости и лишь приблизительно соответствует геометрии таких важных объектов, как Вселенная и поверхность Земли.

Это вовсе не абсолютная истина, каковой ее принимали на веру, а всего лишь истина плоскости.

Часть четвертая

ПРОБЛЕМА УТКОНОСА

Глава 12

ДЫРКИ В ГОЛОВЕ

Один друг как-то попросил меня показать мою картотеку. Я привел его в свой кабинет и сказал:

— Это папка для корреспонденции. Здесь я храню старые рукописи. Здесь рукописи, над которыми я работаю. Вот карточный каталог моих книг... моих научно-фантастических рассказов... моих научных очерков...

— Нет, нет, нет, — перебил он. — Все это понятно. Где ты хранишь справочные материалы?

— Какие справочные материалы? — спросил я смущенно. (Я очень часто говорю смущенно. Думаю, это часть моего обаяния... или, возможно, наивности.)

— Карточки, на которых ты записываешь то, что тебе может понадобиться для будущих статей или книг, и которые ты раскладываешь по темам.

— Я этого не делаю, — с нарастающим беспокойством произнес я. — А должен?

— Значит, ты всю информацию хранишь в голове? Как это у тебя получается?

Я обрадовался, потому что на этот вопрос мог ответить определенно:

— Я не знаю.

А приятель, похоже, обиделся.

Но я действительно *не знаю*, как это у меня получается. Я знаю только, что был классификатором столько, сколько себя помню. Все в моей голове распадается на категории; все там делится и подсчитывается и укладывается в аккуратные стопки. Я не стараюсь. Все происходит само собой.

Конечно, иногда я сомневаюсь в деталях. Например, сколько же всего книг я издал? Меня все время об этом спрашивают¹.

Но что такое книга?

Недавно вышло второе издание моей книги *The Universe* («Вселенная»). Новая ли это книга? Безусловно, нет. Я ее пересмотрел, дополнил новыми данными, но изменений недостаточно, чтобы считать эту книгу новой. С другой стороны, позднее вышло третье издание моей книги «Путеводитель по науке для интеллигентного человека» (*The Intelligent Man's Guide To Science*). Я счел второе издание новой книгой и собираюсь считать новым и третье издание, поскольку в каждом случае изменения были существенными и времени потрачено столько, сколько потребовала бы новая книга.

Может, вы думаете, что я кромсаю и изменяю книги ради удовольствия, но это не совсем так. В книге «Опус 100» (*Opus 100*) я перечислил свои первые сто книг в хронологическом порядке, и этот список стал «официальным». Однако точен ли он? Правильно ли я поступил, исключив из списка то или иное название или, наоборот, что-то в него включив?

Не имеет значения? Конечно, но это помогает мне почувствовать симпатию к классификаторам, занимающимся более сложными вопросами, чем перепись книг. Например:

¹ Если вы умираете от любопытства, я отвечу: 117 на момент написания этой.

Как вы отличите млекопитающее от пресмыкающегося?

Легче и быстрее всего решить, что млекопитающее покрыто волосами, а пресмыкающееся — чешуей. Конечно, принимая это различие, придется проявить либеральность. Некоторые организмы, которые мы считаем млекопитающими, имеют не так уж много волос. Например, у людей волос немного; у слонов еще меньше, но все же есть; у акул еще меньше, но даже у них есть немного волос. У дельфинов обычно бывает от двух до восьми волосков у пасти. Даже у безволосых видов акул волосы некоторое время наблюдаются в эмбриональном состоянии.

А один волосок в этом отношении так же хорош, как и миллион, ибо любой волос является признаком млекопитающего. Ни одно существо, которое мы определенно не относим к млекопитающим, не имеет ни одного настоящего волоса. У них могут быть структуры, похожие на волосы, но сходство исчезает, как только мы рассматриваем их строение под микроскопом, их химический состав, их анатомическое происхождение либо все это вместе.

Несколько менее полезное различие состоит в том, что млекопитающие (ну, большинство) — живородящие, а пресмыкающиеся (опять-таки большинство) — нет. Некоторые пресмыкающиеся, такие как морские змеи, приносят живое потомство, но только потому, что хранят яйца в своем теле до вылупливания. Развивающиеся эмбрионы находят себе пищу внутри яйца, а то, что яйцо лежит внутри тела, вопрос безопасности, а не вскармливания.

С другой стороны, млекопитающие, или большинство из них, кормят развивающийся эмбрион из материнского кровотока через орган, называемый плацентой, в котором кровеносные сосуды

матери и эмбриона расположены так близко, что молекулы просачиваются через стенки сосудов: пища — от матери к эмбриону, выделения — от эмбриона к матери. (Однако фактического соединения кровеносных систем нет.)

Меньшинство млекопитающих рождает потомство живым, но очень плохо развитым, и дальнейшее развитие происходит в специальной материнской сумке снаружи тела. Еще меньше млекопитающих откладывают яйца, но даже у них есть волосы.

Еще один отличительный признак — млекопитающие кормят своих новорожденных молоком, вырабатываемым особыми материнскими железами. Это происходит даже у бесплацентных млекопитающих и даже у тех, что откладывают яйца. Подобного *нет* ни у одного существа без волосяного покрова (ни у одного!). Похоже, что молоко вырабатывается только у млекопитающих, и это, по-видимому, более всего остального произвело впечатление на классификаторов. Само слово «млеко» (*mammal*) происходит от латинского *mamma*, означающего «грудь».

К тому же млекопитающие сохраняют постоянную внутреннюю температуру даже в очень широком температурном диапазоне окружающей среды. Температура же пресмыкающихся более-менее подстраивается под окружающую среду. Поскольку внутренняя температура млекопитающих близка к 100 °F (37,8 °C) и, следовательно, обычно выше температуры окружающей среды, млекопитающие кажутся на ощупь теплыми, а пресмыкающиеся — холодными. Вот почему мы называем млекопитающих теплокровными, а пресмыкающихся — холоднокровными, упуская главный отличительный признак, а именно то, что внутренняя температура постоянна в первом случае и непостоянна во втором.

(Конечно, птицы тоже теплокровны, но мы никогда не спутаем птицу с млекопитающим. Все птицы без исключения имеют перья, а все нептицы без исключения перьев не имеют. И кроме птиц и млекопитающих, все организмы холоднокровны.)

Я, безусловно, перечислил не все различия между млекопитающими и пресмыкающимися, а только те, по которым не биологи могут различить существа с некоторого расстояния. Если бы мы решили заняться препарированием, то смогли бы обнаружить и другие. Например, у млекопитающих есть плоская мышца, называемая диафрагмой; она отделяет грудную клетку от брюшной полости. Сокращаясь, диафрагма увеличивает объем грудной полости (за счет брюшной полости, что не имеет значения) и помогает втягивать воздух в легкие. У пресмыкающихся, как и у всех неволосатых живых существ, диафрагмы нет.

Пока все хорошо. Но теперь перейдем к вымершим видам, которые биологи могут изучать только в окаменелостях. Палеонтологи (биологи, изучающие вымершие виды), глядя на какую-нибудь окаменелость, без колебаний определяют, пресмыкающееся это или млекопитающее. Сразу же встает вопрос: как?

Все очевидные отличия использовать невозможно, поскольку окаменелости предлагают нам лишь останки, бывшие прежде костями и зубами. Невозможно, глядя на горстку костей и зубов, найти следы волос, или грудных желез, или молока, или плаценты, или диафрагмы.

Можно лишь сравнить найденные кости и зубы с костями и зубами современных пресмыкающихся и млекопитающих и посмотреть, есть ли четкие различия в твердых тканях. Тогда вы смогли бы пред-

положить, что если кости вымершего организма имеют признаки, характерные для млекопитающих, то у него были волосы, грудные железы, диафрагма и все остальное.

Рассмотрим череп. У самых примитивных и ранних пресмыкающихся череп за глазами был твердой костью, а с другой стороны кости находились челюстные мышцы. Однако существовала тенденция обнажать челюстные мышцы для большей свободы, так что у многих пресмыкающихся отверстия в черепе ограничивались костными дугами. Потеря в обороноспособности с лихвой компенсировалась способностью к нападению: более крупными и крепкими челюстями легче было ухватить добычу. Пресмыкающихся, развивших эти отверстия, ждало великое будущее.

(Правда, эволюционный «прогресс» не всегда универсален и никогда не бывает единственным решением. Одна группа пресмыкающихся, не пользовавшаяся дыркой в голове, умудрилась выжить и процветает сотни миллионов лет до наших дней, хотя очень многие виды с дырками в черепе давно исчезли. Я говорю о черепах, чьи челюстные мышцы спрятаны под твердой большой костью.)

Пресмыкающиеся, развившие разнообразные отверстия в черепах, классифицируются по группам согласно рисунку отверстий. И не потому, что этот рисунок имеет большое физиологическое значение сам по себе, а только потому, что это удобно, ведь если у вас имеется какая-то часть пресмыкающегося, давным-давно вымершего, то это, скорее всего, его череп.

А как же быть с млекопитающими, которые произошли от пресмыкающихся? У них имеется по одному отверстию с каждой стороны черепа точно за глазами, связанному снизу узкой костной дугой, называемой скуловой дугой.

Итак, палеонтолог может взглянуть на череп и по природе отверстий сразу сказать, пресмыкающееся это или млекопитающее.

И опять же, нижняя челюсть рептилии состоит из семи разных крепко соединенных костей. Нижняя челюсть млекопитающего представляет собой единую кость. (Некоторые из утраченных костей развились в крошечные косточки среднего уха, и это не так странно, как кажется на первый взгляд. Если вы приложите палец к точке, где нижняя челюсть встречается с верхней челюстью и где были кости древнего пресмыкающегося, то окажетесь не очень далеко от уха.)

Что касается зубов, то зубы пресмыкающихся обычно одинаковы и имеют конусообразное строение. Зубы млекопитающих сильно отличаются друг от друга: режущие резцы впереди, перемалывающие моляры позади, рвущие клыки и премоляры между ними.

Поскольку млекопитающие развились из предков-пресмыкающихся, можно ли как-нибудь распознать, какой класс пресмыкающихся был нашим предком? Безусловно, ни один существующий класс пресмыкающихся не произошел от млекопитающего или близкого к млекопитающему. Мы должны искать какой-то класс, совсем не оставивший потомков-пресмыкающихся.

Один такой класс, ныне всецело вымерший (как пресмыкающиеся), называется синапсида. Представители его имеют единственное черепное отверстие с каждой стороны головы и демонстрируют явные зачатки млекопитающих.

Существовало два важных вида синапсид. Более ранними, жившими около трехсот миллионов лет назад, были члены отряда (подкласса) пелико-

завров. Пеликозавры интересны главным образом тем, что в их черепах наблюдаются зачатки скуловых дуг. Более того, их зубы проявляют некоторую дифференциацию. Передние зубы похожи на резцы, а за ними расположены зубы, весьма похожие на клыки. Однако моляров нет, а задние зубы — конусы пресмыкающихся.

Прожив в добром здравии примерно пятьдесят миллионов лет, пеликозавры уступили дорогу классу синапсид подкласса терапсида. Несомненно, терапсиды произошли от особого вида пеликозавров.

Терапсиды явно ближе к млекопитающим, чем пеликозавры. Их скуловая дуга больше похожа на дугу млекопитающих, чем у пеликозавров; на самом деле так похожа, что даже дала терапсидам их название. «Терапсида» в переводе с греческого означает «отверстие животного (зверя)». Другими словами, отверстие в черепе, как у животного, где «животное» — слово, которым зоологи обычно называют млекопитающих.

Далее, зубы у терапсид гораздо больше дифференцированы, чем у пеликозавров. У известной терапсиды, жившей около 220 миллионов лет назад в Южной Африке, череп и зубы так похожи на собачьи, что ее назвали *synognatus* («собачья челюсть»). Задние зубы синогнатуса даже начинают походить на моляры.

Более того, в то время как подбородок терапсид состоял из семи костей, как и положено пресмыкающимся, центральная кость, или *dentary*, была самой большой. Другие шесть костей, по три с каждой стороны, теснились к сочленению нижней и верхней челюстей — так сказать, на их пути к уху.

И в другом отношении терапсиды демонстрировали прогрессивные черты. (Мы обычно называем прогрессивными любые признаки, приближающие к нам самим.) Ранние пресмыкающиеся, включая

пеликозавров, имели вывернутые наружу выше колена ноги, так что их верхняя часть была горизонтальной. Это весьма неэффективный способ распределения веса тела.

Что не характерно для терапсид. В их случае ноги были вытянуты под телом; их верхние части, как и нижние, стремились к вертикальному положению. Так легче поддерживать тело и можно двигаться быстрее с меньшими затратами энергии, что характерно для млекопитающих. Очевидно, при более эффективных вертикальных ногах отпадала надобность в особо длинных пальцах. У примитивных пресмыкающихся было четыре или даже пять суставов в средних пальцах ног. Однако у терапсид было по два сустава в первых пальцах и по три сустава в остальных. И опять же это свойственно млекопитающим.

Однако терапсиды не выжили. Мы, конечно, можем искать в них своих далеких-далеких предков, но факт остается фактом: около двухсот миллионов лет тому назад на сцену вышли археозавры, существа, представляющие то, что мы неточно называем динозаврами. Быстро увеличиваясь в размерах и численности видов, они (совсем не наши предки) вытеснили терапсид.

И около 150 миллионов лет тому назад терапсиды исчезли с лица земли все до одного.

Вообще-то не совсем так! Некоторые маленькие терапсиды сохранились, но они стали настолько похожи на млекопитающих, что, судя по очень немногим окаменелым останкам, мы больше не можем называть их терапсидами. Мы называем их млекопитающими.

Выйдя на сцену, млекопитающие умудрились пережить примерно сотню миллионов лет господства археозавров. Затем, после исчезновения археозавров около семидесяти миллионов лет тому назад,

млекопитающие продолжали выживать и стремительно дифференцироваться, и этот последний период земной жизни получил название «век млекопитающих».

Теперь встает вопрос: почему млекопитающие выжили, а терапсиды практически нет? Археозавры оказались гораздо выше терапсид; почему развились не потомки терапсид, а млекопитающие? Вряд ли млекопитающие были особенно умными, потому что примитивные млекопитающие таковыми не были. Они не очень умны даже в наше время, а уж что говорить о сотне миллионов лет тому назад.

И не так уж прогрессивна была их репродуктивная система, например вынашивание новой жизни. Развитие плаценты или даже сумки началось лишь в конце эры господства археозавров. Почти сто миллионов лет млекопитающие выживали, откладывая яйца.

Не могли сыграть особую роль прогрессивные зубы или ноги или части скелета терапсид, поскольку, в общем, им это не помогало.

Скорее всего, выжить млекопитающим помогла теплокровность, поддержание постоянной внутренней температуры. Благодаря контролю внутренней температуры млекопитающее могло выдерживать прямые лучи жаркого солнца гораздо легче, чем пресмыкающееся; млекопитающее было теплым и подвижным холодным утром, когда пресмыкающиеся были холодными, окоченевшими и медлительными.

Если млекопитающее сохраняло подвижность в прохладные часы или в теплое время на него нападало пресмыкающееся, оно могло метнуться под жаркие солнечные лучи и, соответственно, выжить.

Однако если млекопитающие выжили именно по этой причине, то их теплокровность должна была быть хорошо развита с самого начала, и это не могло случиться за одну ночь.

Мы можем сделать вывод, что кроме изменений в терапсидах, которые мы видим в скелетах, должны были произойти дополнительные изменения, обеспечившие теплокровность. Млекопитающие выжили, потому что у них лучше всех терапсид развилась теплокровность.

Наблюдаются ли какие-либо признаки зачатков таких изменений среди предшественников пресмыкающихся или млекопитающих? Ряд видов пеликозавров имел длинные, выпирающие высоко вверх костные отростки позвонков. Очевидно, кожа растягивалась на этих отростках, обеспечивая пеликозавров высоким ребристым «парусом».

Зачем? Американский зоолог Альфред Шервуд Ромер предположил, что это было кондиционирующее устройство (как огромные веерообразные уши африканского слона). Тепло поглощается или теряется через поверхность тела, а парус пеликозавра мог легко удвоить эту поверхность. Прохладным утром парус впитывал солнечное тепло и согревал существо гораздо быстрее, чем случилось бы с подобным организмом без паруса. А жарким днем пеликозавр мог оставаться в тени и быстро терять тепло через кровеносные сосуды, пронизывающие парус.

Короче говоря, парус помогал поддерживать внутреннюю температуру пеликозавра ближе к постоянной, чем в случае с другими подобными пресмыкающимися. Хотя их терапсидные потомки парусов не имели, они вряд ли потеряли способность контролировать температуру, поскольку их потомки, млекопитающие, делали это очень успешно.

Должно быть, терапсиды развили нечто лучшее, чем парус. Они могли увеличить скорость метаболического процесса, что давало больше тепла, а волосы (всего лишь видоизмененная чешуя) служили изолятором, позволяющим уменьшать потери тепла в холодные дни. У них могли развиться и потовые железы, чтобы избавляться от тепла в жаркие дни эффективнее, чем с помощью паруса.

Короче говоря, были ли терапсиды волосатыми и потливыми, как млекопитающие? По окаменелостям ответить на этот вопрос невозможно.

И стали ли эти виды, лучше всех развившие волосатость и потливость, тем, что мы называем млекопитающими, и выжили ли они там, где менее прогрессивные терапсиды не выжили?

Давайте посмотрим в другом направлении. У пресмыкающихся ноздри открываются в рот сразу за зубами, то есть пресмыкающиеся могут дышать с закрытым — и пустым — ртом. Когда рот полон, дыхание прекращается. В случае с холоднокровными пресмыкающимися никакой вред не наносится. Пресмыкающееся относительно мало нуждается в кислороде, и если во время еды поступление кислорода временно прекращается, так что же?

А вот если млекопитающим приходится быть теплокровными, то им все время надо обеспечивать высокую скорость метаболического процесса, а это означает, что окисление пищи (из которой берется тепло) должно продолжаться постоянно. Поступление кислорода не должно прекращаться больше чем на пару минут. Это возможно благодаря тому, что млекопитающие имеют нёбо, свод ротовой полости. Когда млекопитающие дышат, воздух идет к горлу надо ртом. Дыхание прерывается только в момент глотания, а это дело всего пары секунд.

Интересно, что ряд поздних видов терапсид действительно развил нёбо. Это может быть довольно хорошим признаком их теплокровности.

Возможно, если бы мы смогли наблюдать терапсид живыми, а не в качестве горстки окаменевших костей, то увидели бы волосатые, потные создания, коих легко приняли бы за млекопитающих. А потом удивлялись бы, какие из волосатых потных существ — пресмыкающиеся, а какие — млекопитающие. И как провести границу?

Может показаться, что в наше время эта проблема не имеет решающего значения. Все существующие волосатые теплокровные существа называются млекопитающими. А имеем ли мы на это право?

Если говорить о плацентарных и сумчатых, то да, имеем. Они развили свои плаценты и сумки около восьмидесяти миллионов лет тому назад, после того, как млекопитающие уже существовали несколько сотен миллионов лет. Ранние млекопитающие, должно быть, откладывали яйца, как, вероятно, и их предшественники терапсиды. Если мы хотим найти границу между терапсидами и млекопитающими, то должны искать среди волосатых видов, откладывающих яйца.

Между прочим, шесть видов таких волосатых, откладывающих яйца, сохранилось до наших дней в Австралии, Тасмании и Новой Гвинее, островах, которые откололись от Азии до того, как развились более эффективные плацентарные млекопитающие, иначе откладывающим яйца пришлось бы участвовать в смертельном состязании. Впервые откладывающих яйца обнаружили в 1792 году, и некоторое время биологам трудно было поверить, что они действительно существуют. Прошло много времени, прежде чем биологи перестали подо-

зреть мистификацию — волосатые существа, откладывающие яйца, казались противоречием.

Самый известный из откладывающих яйца — утконос (из-за ороговевшего нароста на носу, похожего на утиный клюв). Его также называют *Ornithorhynchus* от греческих слов, означающих «птичий клюв».

У этих откладывающих яйца созданий, конечно, имеются волосы, очень хорошие волосы, но таковые имелись (весьма вероятно) и у по меньшей мере некоторых терапсид. Откладывающие яйца также вырабатывают молоко, хотя у их молочных желез нет сосков, и малышам приходится лизать волосы, по которым стекает молоко. Однако, возможно, и некоторые терапсиды вырабатывали молоко подобным образом. Этого из костей не видно.

В некоторых отношениях эти откладывающие яйца существа сильно напоминают пресмыкающихся. Они контролируют температуру тела хуже других млекопитающих, а некоторые вырабатывают яд. Утконос, например, имеет на каждой лодыжке мозолистую шпору, выделяющую яд, и, хотя ряд пресмыкающихся ядовит, ни одно млекопитающее (кроме откладывающих яйца) не ядовито.

К тому же из-за откладывания яиц у них имеется единственное брюшное отверстие, клоака, служащее общим выводом для мочи, фекалий, яиц и спермы. Все существующие птицы и пресмыкающиеся (также откладывающие яйца) имеют клоаки, но не млекопитающие, кроме тех немногих, что откладывают яйца. По этой причине откладывающие яйца называются монотремами (одноапертурными, с одним отверстием).

Большинство зоологов по волосам и молоку безошибочно определяют млекопитающих, но яйца, клоака и яд — достаточные признаки пресмыкающихся. Поэтому откладывающих яйца помести-

ли в подкласс прототерии (яйцекладущие млекопитающие, однопроходные клоачные, первозвери), а всех других млекопитающих, сумчатых и плацентарных, поместили в подкласс терии (звери).

Теперь встает вопрос: являются ли монотремы первыми млекопитающими или последними терапсидами? Или они — пресмыкающиеся с внешними признаками млекопитающих, как было, возможно, с рядом последних терапсид; или они млекопитающие, сохранившие некоторые характеристики пресмыкающихся?

Может быть, это кажется чисто семантической проблемой, но зоологи в таких случаях должны принимать решения и, если возможно, достигать согласия.

Американский зоолог Джайлз Т. Макинтайр недавно вступил в спор, предложив использовать в качестве критерия характеристики скелета. (В случае терапсид у нас имеется лишь одна прямая улика — скелет.) Он сосредоточился на участке около уха, где челюстные кости некоторых пресмыкающихся становились ушными костями млекопитающих и где можно было ожидать некоторых полезных различий между обоими классами.

От челюстных мышц к мозгу ведет тройничный нерв. У всех пресмыкающихся без исключения он проходит через маленькую дырочку в черепе, которая лежит между двумя отдельными костями, составляющими череп. У всех сумчатых и плацентарных млекопитающих без исключения тройничный нерв проходит через маленькую дырочку в одной из костей черепа.

Тогда забудем о волосах, молоке, яйцах и теплокровности и сведем проблему к дыркам в голове. Проходит ли тройничный нерв монотрем через черепную кость или между двумя черепными костями? Ответ: *через* черепную кость.

Это означает, что монотремы — млекопитающие.

Нет, говорит Макинтайр. Тройничный нерв изучали у взрослых монотрем, у которых черепные кости сращены и трудно различить их границы. У молодых монотрем черепные кости не так хорошо развиты и более явно разделены (что, в общем, справедливо и для молодых млекопитающих). У юных монотрем, утверждает Макинтайр, отчетливо видно, что тройничный нерв проходит между двумя костями, а у взрослых особей сращивание черепных костей маскирует этот факт.

Если Макинтайр прав, то мы можем сказать: терапсиды никогда полностью не вымирали и монотремы являются живыми терапсидами, живыми пресмыкающимися, в некоторых отношениях так похожими на млекопитающих, что их почти два столетия считали млекопитающими.

Важно ли это кому-либо, кроме зоологов?

Ну, это важно мне. Эмоционально я на стороне Макинтайра. Мне так хочется, чтобы терапсиды выжили!

Часть пятая

ПРОБЛЕМА ИСТОРИИ

Глава 13

ФЕНОМЕН «ЭВРИКА»

Прежде, много работая над научно-фантастическими романами, я иногда вдруг оказывался в тупике и не видел никакого выхода. Для таких моментов я разработал безотказный метод.

Метод очень простой: я отправлялся в кинотеатр. И не просто на любой фильм; я выбирал такой, где было много действия и ничего интеллектуального. Во время сеанса я изо всех сил старался прогнать любые мысли, касающиеся моей проблемы, а выходя из кинотеатра, уже точно знал, как история должна развиваться дальше.

И ни разу этот метод меня не подвел.

Вообще-то, еще когда я очень много лет назад трудился над докторской диссертацией, я вдруг наткнулся на изъян в своих логических выводах, которого не замечал раньше и который полностью разрушал все, что я сделал. Я бросился в кинотеатр на фильм с Бобом Хоупом, а вышел с совершенно иным взглядом на проблему.

Видите ли, я верю, что мышление — двойственный процесс, как дыхание.

Вы можете контролировать дыхание силой воли: вы можете дышать глубоко и быстро или за-

держивать дыхание вопреки потребностям организма. Однако этот способ хорошо работает не очень долго. Ваши грудные мышцы устают, организм требует больше кислорода или, если вы расслаблены, меньше. Автоматический, непроизвольный контроль за дыханием берет верх, дыхание приспособляется к требованиям организма, и, если у вас нет проблем с органами дыхания, вы просто обо всем этом забываете.

Ну, и мыслить вы можете заставить себя сознательно, и вряд ли это в целом эффективнее, чем волевой контроль за дыханием. В поисках решения какой-то проблемы можно заставить работать мозг через дедукцию и ассоциации, но вскоре ваши мысли начнут крутиться по замкнутому кругу и не приведут вас к цели, и никакие дальнейшие усилия не помогут.

С другой стороны, если выпустите мыслительный процесс на самотек, на сцену выйдет автоматический, непроизвольный контроль, и мысли потекут по новым колеям, вызывая хаотические ассоциации, которые вы и представить не могли сознательно. Решение приходит, когда вы *думаете*, что *не* думаете.

Правда, проблема в том, что сознательная мысль не требует мышечных усилий, а потому не наступит ощущение физической усталости, заставляющее вас остановиться. Более того, боязнь провала поощряет вас продолжать бесполезный процесс, а каждая тщетная попытка усиливает панику, и вам не вырваться из порочного круга.

По-моему, вы можете сознательно расслабиться, дав свой мозг проблемой достаточно сложной, чтобы обеспечить полет мысли, но весьма поверхностной, чтобы не задействовать более глубокое подсознание. В моем случае это боевик; в вашем случае это может быть что-нибудь другое.

Подозреваю, что именно способность мыслить произвольно пробуждает то, что мы называем «вспышкой интуиции». То, что, по моему мнению, просто результат неосознанного мыслительного процесса.

Вероятно, самая знаменитая в истории вспышка интуиции имела место в городе Сиракузы на острове Сицилия в III веке до нашей эры. Следуйте за мной, и я расскажу вам эту историю...

Примерно в 250 году до нашей эры Сиракузы переживали нечто вроде золотого века. Город находился под защитой могущественного Рима, но имел собственного царя и широкое самоуправление, вел насыщенную интеллектуальную жизнь и процветал. Царь Гиерон II заказал ювелиру новую корону, отдав для этой цели золотой слиток. Гиерон, будучи человеком практичным, тщательно взвесил слиток, а потом взвесил готовую корону. Веса совпали. Отлично!

Однако царь задумался. Предположим, ювелир взял себе кусочек золота, не слишком большой, и заменил его равной по весу, но гораздо менее ценной медью. Получившийся сплав не отличается по виду от чистого золота, но ювелир, кроме платы за работу, получил еще и золото. То есть он обменял медь на золото, обокрав Гиерона.

Гиерону не понравилась мысль о возможном обмане, как не понравилась бы она вам или мне, но он не знал, как выяснить правду. Нельзя же наказывать ювелира только по подозрению. Так что же делать?

К счастью, у Гиерона было преимущество, коим в мировой истории мало кто из правителей мог похвастаться: очень талантливый родственник. Звали того родственника Архимедом, и до рождения

Ньютона он имел, пожалуй, самый светлый ум на земле.

Гиерон вызвал Архимеда и озадачил его: следовало определить, сделана корона из чистого золота или в нее добавлено какое-то количество меди.

Если бы мы смогли реконструировать ход мыслей Архимеда, возможно, он был бы следующим. Золото было (в то время) самым плотным веществом. Его плотность в современных терминах составляет 19,3 грамма на кубический сантиметр. Это означает, что данный вес золота занимает меньший объем, чем любое другое вещество такого же веса! В частности, данный вес чистого золота занимает меньший объем, чем тот же самый вес *любого* золотого сплава.

Плотность меди — 8,92 грамма на кубический сантиметр, примерно в два раза меньше, чем у золота. Если мы возьмем, например, 100 граммов чистого золота, то легко подсчитать, что они имеют объем 5,18 кубического сантиметра. Но пусть то, что выглядит как чистое золото, на самом деле содержит только 90 граммов золота и 10 граммов меди. 90 граммов золота имеют объем 4,66 кубического сантиметра, а 10 граммов меди — 1,12 кубического сантиметра, тогда общий объем составит 5,78 кубического сантиметра.

Разница между 5,18 кубического сантиметра и 5,78 кубического сантиметра довольно заметная, и можно было бы сразу сказать, сделана корона из чистого золота или содержит 10 процентов меди (то есть недостающие 10 процентов золота отправились прямо в хранилище ювелира).

Оставалось всего лишь измерить объем короны и сравнить его с объемом такого же веса чистого золота.

Математики того времени легко измеряли объем тел многих простых форм: куба, сферы, конуса, ци-

линдра, любого плоского предмета простой формы и известной толщины и так далее.

Легко представить, как Архимед говорит: «Господин, необходимо лишь расплющить корону, получить фигуру квадратного сечения и одинаковой толщины, и тогда я сразу же дам вам ответ!»

После чего Гиерон наверняка выхватил бы свою корону из рук Архимеда и заявил: «Ну нет. Это я могу сделать и без тебя; я тоже изучал математику. Эта корона — произведение искусства, и я не позволю ее портить. Просто рассчитай ее объем, как она есть».

Однако греческие математики не умели определять объем тел такой неправильной формы, как корона, поскольку интегральное исчисление еще не было изобретено (и не будет еще почти две тысячи лет). Тогда Архимед, должно быть, сказал: «Господин, никто не знает способа определить объем, не ломая корону». — «Так придумай», — раздраженно приказал Гиерон.

И Архимед, вероятно, стал думать, но ничего не придумал. Никто не знает, как долго он думал и как усердно и какие гипотезы выдвигал и отвергал.

Мы знаем только, что, измученный размышлениями, Архимед решил посетить публичные бани и расслабиться. Вряд ли Архимед собирался тащить в бани свою проблему. Смешно было бы это вообразить, ибо публичные бани греческой метрополии предназначались совсем для другого.

Греческие бани были местом расслабления. Городская аристократия собиралась там и не только, чтобы помыться. Там парились, массировались, занимались физическими упражнениями и общались. Архимед наверняка хотел на время позабыть о дурацкой короне.

Мы можем представить, как он беседовал с окружающими, обсуждая последние новости из Александрии и Карфагена, последние городские скандалы, последние забавные шутки над римскими наместниками, а потом погрузился в ванную с приятной горячей водой, которую какой-то неумелый слуга наполнил до самых краев.

Когда Архимед улегся в ванну, часть воды выплеснулась. Сразу ли Архимед это обнаружил или просто вздохнул, поудобнее устраиваясь, и только потом заметил выплеснувшуюся воду? Думаю, справедливо последнее. В общем, рано или поздно, но он это заметил, и этот факт в сочетании с цепочкой рассуждений, занимавших его до периода релаксации, вызвал в мозгу, не замутненном относительно глупостями (ибо и Архимеду было не чуждо все человеческое) сознательного мыслительного процесса, ослепительную вспышку интуиции.

Выскочив из ванны, Архимед бегом помчался домой. Он даже *не* потрудился одеться. Мысль об обнаженном Архимеде, бегущем по улицам Сиракуз, приятно возбуждала десятки поколений подростков, слышавших эту историю, но я должен объяснить, что древние греки весьма равнодушно относились к наготы. Обнаженный мужчина на улицах Сиракуз казался им таким же естественным, каким показался бы нам на сцене Бродвейского театра.

И на бегу он кричал и кричал: «Нашел! Нашел!» Конечно, не зная английского, он был вынужден кричать по-гречески: «Эврика! Эврика!»

Решение Архимеда было настолько простым, что его мог понять любой... после объяснения Архимеда.

Если тело, никоим образом с водой не реагирующее, погружено в воду, оно обязательно вытес-

нит количество воды, равное своему собственному объему, поскольку два тела не могут одновременно занимать одно и то же пространство.

Тогда предположим, что у вас есть сосуд, достаточно большой, чтобы вместить корону, и предположим, что в середине одной из его стенок есть маленькое выпускное отверстие. А теперь предположим, что сосуд заполнен водой точно до этого отверстия, так что, если уровень воды поднимется чуть выше, пусть даже совсем чуть-чуть выше, часть воды выльется.

Затем предположим, что вы осторожно опустили корону в воду. Уровень воды поднимется на количество, равное объему короны, и этот объем воды выльется из отверстия в другой, маленький сосуд. Кусок заведомо чистого золота, точно равного по весу короне, также погрузим в воду, и опять уровень воды поднимется, а излишек выльется во второй сосуд.

Если корона сделана из чистого золота, объемы вылившейся в обоих случаях воды будут равны. Однако, если корона сделана из сплава, во второй сосуд выльется больше воды, чем если бы она была сделана из чистого золота, и это легко заметить.

Более того, с короной ничего не случится, на ней не появится ни царапинки. Еще важнее то, что Архимед обнаружил «принцип плавучести».

А как же наша корона? Была ли она золотой? Я слышал, что она оказалась сделанной из сплава, и ювелира казнили, но я не готов в этом поклясться.

Как часто случается феномен «Эврика»? Как часто вспыхивает эта искра интуиции в момент релаксации, этот триумфальный крик «Нашел! Нашел!», должно быть, момент самого чистого восторга, доступного в этом печальном мире?

Хотел бы я знать. Подозреваю, что в истории науки это случается *часто*; подозреваю, что очень немногие научные открытия сделаны в результате сознательного мыслительного процесса; подозреваю, что сознательный мыслительный процесс может подготовить почву (если может), но финальный штрих, настоящее озарение, приходит непреднамеренно.

Однако мир вступил в заговор с целью сокрыть этот факт. Ученые обвенчаны с разумом, с мелочной разработкой последствий, вытекающих из предположений, с тщательной организацией экспериментов, цель которых — проверить эти последствия. Если определенная цепочка экспериментов не дает результата, ее исключают из окончательного отчета. Если интуитивная догадка оказывается верной, о ней *не* сообщают, как об интуитивной догадке. Взамен выстраивается четкая линия прицельного мыслительного процесса, и именно она вносится в окончательный отчет.

В результате любой, кто читает научные отчеты, готов поклясться, что только целенаправленное мышление обеспечивает тяжкое продвижение к цели, а этого просто не может быть.

Какой стыд. Это не только лишает науку большей части ее блеска (как вы думаете, какая часть драматичной истории «Двойной спирали» (*Double Helix*) Ватсона попала в окончательные отчеты о величайшем открытии структуры ДНК?¹), но и относит важный процесс предвидения, вдохновения, озарения в область мистики.

Ученый действительно начинает стыдиться того, что мы могли бы назвать озарением, как будто озарение равносильно предательству интеллекта, когда на самом деле то, что мы называем озарением

¹ Если вам любопытно, я скажу. Никакая!

у человека, который посвятил свою жизнь логическому мышлению, в конце концов, просто неконтролируемое логическое мышление.

В наше время лишь иногда нам удается заглянуть в процесс неосознанного мышления, и он нас очаровывает. Вспомним хотя бы Фридриха Августа Кекуле фон Страдоница.

Во времена Кекуле, сто двадцать пять лет тому назад, химиков очень интересовала структура органических молекул (которые ассоциировались с живой тканью). Неорганические молекулы, как правило, были просты в том смысле, что состояли из нескольких атомов. Молекулы воды, например, состояли из двух атомов водорода и одного атома кислорода (H_2O). Молекулы обычной соли состояли из одного атома натрия и одного атома хлора ($NaCl$) и так далее.

А вот органические молекулы часто состояли из большого числа атомов. Молекулы этилового спирта имеют два атома углерода, шесть атомов водорода и один атом кислорода (C_2H_6O); молекула обычного тростникового сахара — $C_{12}H_{22}O_{11}$, а другие молекулы еще сложнее.

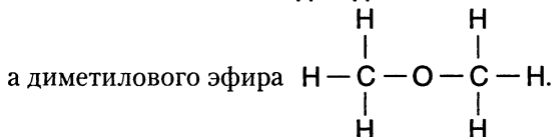
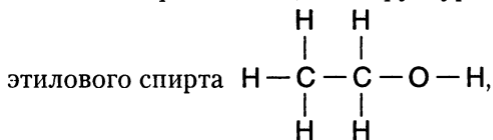
И еще, в случае неорганических молекул, как правило, достаточно просто знать виды и количество атомов в молекуле; в органических молекулах необходимо знать больше. Например, формула диметилового эфира C_2H_6O , точно такая, как формула этилового спирта, но оба вещества имеют абсолютно разные свойства. Очевидно, атомы в молекулах расположены по-разному, но как определить эти расположения?

В 1852 году английский химик Эдвард Франкленд заметил, что атомы определенного элемента склонны комбинироваться с фиксированным количеством других атомов. Это комбинационное число называли валентностью. В 1858 году Кекуле

систематизировал это наблюдение. Он решил (на основании множества химических доказательств), что атом углерода имеет валентность четыре; атом водорода — валентность один, а атом кислорода — валентность два (и так далее).

Почему бы не представить атомы их символами плюс присоединенные черточки, число которых равно валентности. Тогда атомы соединялись бы, как детали конструктора, и можно было бы построить структурные формулы.

Можно представить, что структурная формула

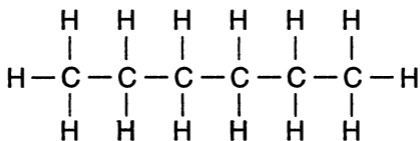


В каждом случае мы имеем два атома углерода с четырьмя черточками каждый и атом кислорода с двумя черточками. Молекулы построены из одних и тех же компонентов, но расположение их различно.

Теория Кекуле работала прекрасно. Ее в огромной степени усовершенствовали, но вы все еще можете найти в любом современном учебнике химии структуры, очень похожие на формулы Кекуле. Они дают упрощенное представление об истинной ситуации, но остаются чрезвычайно полезными при обучении. С 1858 года структуры Кекуле применили ко многим органическим молекулам. Сходство и различия в строении молекул точно соответствовали сходству и различиям в свойствах веществ. Кажется, что ключ к логическому обоснованию органической химии найден.

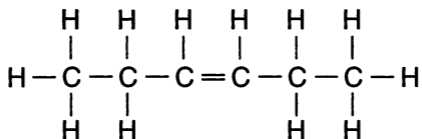
И все же остался один тревожный момент. Всем известный химический бензол не подходил. Было известно, что его молекула состоит из равного количества атомов углерода и водорода, его молекулярная масса — 78, а молекулярная масса одиночной комбинации углерод—водород — 13. Следовательно, молекула бензола должна состоять из шести углеродно-водородных комбинаций и иметь формулу C_6H_6 .

Но отсюда вытекали неприятности. По формулам Кекуле, углеводороды (молекулы, состоящие только из атомов углерода и водорода) легко было представить как цепочки атомов углерода с присоединенными атомами водорода. Если все валентности атомов углерода заполнены атомами водорода, как в гексане, чья молекула выглядит так:



то соединение называют насыщенным. Такие насыщенные углеводороды, как выяснилось, имеют очень слабо выраженную тенденцию реагировать с другими веществами.

Если некоторые из валентностей не были заполнены, то неиспользованные связи прибавлялись к тем, что связывали атомы углерода. Формировались двойные связи, как в гексене:



Гексен не насыщен, поскольку двойная связь склонна раскрываться и присоединять другие атомы. Гексен химически активен.

Когда в молекуле присутствует шесть атомов углерода, четырнадцать атомов водорода занимают все валентные связи и делают молекулу инертной, как в гексане. В гексене же присутствует только двенадцать атомов водорода. Если бы атомов водорода оказалось еще меньше, то получилось бы больше одной двойной связи; могли бы быть даже тройные связи, и соединение стало бы еще активнее, чем гексен.

И все же бензол с формулой C_6H_6 , имеющий на восемь атомов водорода меньше, чем гексан, *менее* активен, чем гексен, имеющий всего на два атома водорода меньше, чем гексан. На самом деле бензол даже менее активен, чем сам гексан. Похоже, шесть атомов водорода в молекуле бензола удовлетворяют шесть атомов углерода гораздо больше, чем четырнадцать атомов водорода в гексане.

Господи, почему?

Это может показаться неважным. Формулы Кекуле так прекрасно подходили для такого большого количества соединений, что можно было бы просто счесть бензол исключением из общего правила.

Однако наука — не английская грамматика. Вы не можете просто классифицировать что-то как исключение. Если исключение не укладывается в общую систему, значит, общая система ошибочна.

Или попробуем более позитивный подход. Часто можно сделать исключение, чтобы подогнать его под общую систему при условии, что общая система расширена. Такое расширение обычно представляет собой большой прогресс, и по этой причине исключениям следует уделять повышенное внимание.

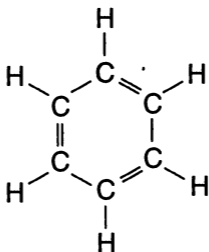
Семь лет Кекуле бился над проблемой бензола и пытался разгадать, как цепочка из шести атомов углерода в бензоле полностью удовлетворяется

всего шестью атомами водорода и остается неудовлетворенной двенадцатью атомами водорода в гексене.

И ничего не мог придумать!

И вдруг в один прекрасный день в 1865 году (он сам рассказывает эту историю) он был в Генте, в Бельгии, и, направляясь по своим делам, сел в общественный омнибус. Кекуле устал и, несомненно, задремал под мерный стук конских копыт по булыжной мостовой. В общем, он погрузился в полусон. И ему приснились атомы, соединяющиеся в передвигающиеся цепочки. (А почему бы и нет? Ведь именно это постоянно занимало его мысли наяву.) Но потом одна цепочка скрутилась таким образом, что ее голова и хвост соединились, образовав кольцо... Кекуле вздрогнул и проснулся.

Должно быть, про себя он вскрикнул «Эврика!», ибо он действительно нашел решение. Шесть атомов углерода бензола формировали кольцо, а не цепочку, поэтому структурная формула выглядела так:



Конечно, все еще оставались три двойные связи, и вы могли бы подумать, что молекулы должны быть очень активными, но теперь появилось различие. Атомы в кольце, как можно ожидать, имеют свойства, отличные от атомов в цепочке, и двойные связи в одном случае могут не обеспечивать те же свойства, что в другом. По крайней мере, хими-

ки могли сделать это допущение и посмотреть, не столкнутся ли с противоречиями.

Не столкнулись. Допущение сработало отлично. Выяснилось, что органические молекулы можно разделить на две группы: ароматические и алифатические. Часть структуры первых составляло бензольное кольцо (или другие подобные кольца), а у последних колец не было. Структуры Кекуле работали отлично, объясняя различные свойства внутри каждой группы.

Почти семьдесят лет картинка Кекуле сохраняла свою ценность в области химических технологий, указывая химикам путь в джунглях реакций, ведущих к синтезу все большего и большего числа молекул. Затем, в 1932 году, Лайнус Полинг применил к химической структуре методы квантовой механики и весьма эффективно объяснил, почему именно бензольное кольцо столь необыкновенно, и то, что оказалось правильным на практике, осталось правильным и в теории.

Другие случаи? Пожалуйста.

В 1764 году шотландский инженер Джеймс Уатт konstruировал оборудование для университета в Глазго. Университетское начальство предоставило ему модель парового двигателя Ньюкомена, которая неважно работала, и попросило отремонтировать ее. Модель была очень неэффективна и поглощала невероятное количество топлива. Можно ли было ее улучшить?

Уатт думал, думал, но ничего не помогало, пока как-то воскресным вечером он не отправился прогуляться. С прогулки Уатт вернулся с важным решением использовать две отдельные камеры: одну только для пара, а другую только для холодной воды, чтобы одну и ту же камеру не приходилось постоянно остужать, а потом снова нагревать, бессмысленно расходуя топливо.

Ирландский математик Уильям Роуан Гамильтон разработал теорию кватернионов в 1843 году, но не мог завершить ее, пока не понял, что существуют условия, при которых $p \times q$ не равно $q \times p$. Эта важная мысль озарила его, когда он гулял по городу с женой.

Немецкий физиолог Отто Леви работал над механизмом нервной деятельности, в особенности над химическими продуктами, вырабатываемыми нервными окончаниями. Как-то в 1921 году он проснулся в три часа ночи с абсолютно ясным планом экспериментов, необходимых для решения важнейшей проблемы. Он записал план и снова заснул. Проснувшись утром, он обнаружил, что не может вспомнить озарившую его мысль. Он помнил, что записал ее, но не мог разобрать написанное.

Назавтра он снова проснулся в три часа ночи, с той же ясной мыслью в голове. На этот раз он не валял дурака, а встал, оделся, отправился в лабораторию и принялся работать. К пяти часам утра он доказал свою гипотезу, и следствия из его открытий оказались настолько важными, что в 1936 году он вместе с другими учеными получил Нобелевскую премию по медицине и физиологии.

Глава 14

ПОМПЕЙ И ОБСТОЯТЕЛЬСТВА

Обычно полагают, что рационалистам придется нелегко, поскольку они считают своим долгом «объяснять» все.

Это не так. Рационалисты утверждают, что правильно искать объяснение в соответствии со здравым смыслом, но нет гарантий, что какое-то опре-

деленное явление можно объяснить таким образом или исходя из имеющихся наблюдений¹.

Однако как часто мне (или любому рационалисту) рассказывают о чем-то странном и спрашивают: «Как вы это объясните?» Подразумевается, что если я не дам ответ немедленно и не удовлетворю любопытство индивидуума, задавшего вопрос, то все здание науки рухнет.

Но и со мной кое-что случается. Однажды, в апреле 1967 года, у меня забарахлил автомобиль, и его пришлось тянуть в гараж на буксире. За семнадцать лет вождения разных машин я впервые испытал подобное унижение.

И как вы думаете, когда это случилось во второй раз? Двумя часами позже в тот же день по совершенно другой причине.

Семнадцать лет без поломок, и вдруг две буксировки в один и тот же день! И как вы объясните *это*, доктор Азимов? (Злые гномы? Мстительное божество? Инопланетный заговор?)

Взглянем на случившееся следующим образом. Каждый день с каждым человеком на земле происходит ряд событий, больших, мелких и незначительных. Каждое из этих событий происходит с какой-то вероятностью, хотя не в каждом случае мы можем определить точную вероятность. Правда, в среднем мы могли бы представить, что одно из каждой тысячи событий имеет только один шанс на тысячу, одно из каждого миллиона события — только один шанс на миллион и так далее.

Это означает, что с каждым из нас постоянно происходит какое-то из маловероятных событий. Если на протяжении долгого времени с любым из

¹ На самом деле это мистики вынуждены объяснять *все*, ибо им не требуется ничего, кроме воображения и слов — *любых* слов, выбранных наугад.

нас ничего необычного не случается, то это *очень* необычно.

Предположим, что мы не ограничиваемся одной личностью, а рассматриваем жизни всех, когда-либо живших на земле. Тогда количество событий увеличивается примерно в шестьдесят миллиардов раз, и мы можем предположить, что когда-то с кем-то случится нечто, что с вероятностью в одну шестидесятимиллиардную невозможно для какого-то другого человека. Даже такое событие не требует никаких объяснений. Это часть жизни нашей нормальной Вселенной, занятой своими обычными делами.

Примеры? Мы все слышали об очень странных совпадениях, случившихся с чьим-то дальним родственником, странных явлениях, представляющих такую необычную связь обстоятельств, что просто *должны* признать существование телепатии, летающих тарелок, сатаны или *чего-то*.

Позвольте и мне предложить кое-что. Случай не с моим дальним родственником, а с примечательной личностью прошлого, чья жизнь отлично задокументирована. С ним произошло очень необычное событие, подобного которому я ни разу не встречал за все время моего разностороннего изучения истории. Более того, это самый удивительный и необычный случай, с каким я когда-либо сталкивался, но даже он не поколебал моей уверенности в превосходстве рационального взгляда на Вселенную. Итак...

Я говорю о Гнее Помпее, более известном англоязычной публике как Помпей.

Помпей родился в 106 году до нашей эры, и первые сорок два года жизни ему неизменно сопутствовала удача. О, думаю, он иногда спотыкался, и стра-

дал от несварения желудка в самый неподходящий момент, и терял деньги, ставя на проигравшего в гладиаторских поединках, но в главном он всегда оставался победителем.

Помпей родился в то время, когда Рим был охвачен гражданской войной и общественными волнениями. Итальянские союзники, которые не были римскими гражданами, подняли восстание против римской аристократии, не желавшей делиться привилегиями. Низшие классы, принявшие на себя всю тяжесть ухудшающегося экономического положения, теперь, когда Рим завершил ограбление большинства средиземноморских территорий, боролись с сенаторами, присвоившими львиную долю добычи.

Когда Помпей был подростком, его отец пытался рисковать. Старший Помпей, полководец и в 89 году до нашей эры консул, разгромил итальянских неграждан и торжественно въехал в столицу как полководец-победитель. Однако, не будучи аристократом по рождению, он попытался заключить сделку с радикалами. У него могли быть серьезные неприятности, ибо он потерял доверие обеих сторон, но в 87 году до нашей эры он умер во время эпидемии, охватившей армию.

В наследство девятнадцатилетнему Помпею отец оставил врагов в обоих враждующих лагерях.

Помпею пришлось выбирать, и выбирать осмотрительно. Радикалы контролировали Рим, однако в Малой Азии боролся с врагами Рима реакционный полководец Луций Корнелий Сулла.

Помпей, не представляя, какая сторона победит, тихонько выжидал и принял решение, только услышав о победном возвращении Суллы из Малой Азии: он поставил на Суллу. Помпей немедленно собрал армию из тех солдат, что сражались с его отцом, провозгласил себя сторонником Суллы и выступил против радикалов.

Это была его первая удача. Он поддержал того, кого надо. В 83 году до нашей эры Сулла вошел в Италию и сразу же начал одерживать победы. К 82 году он уничтожил остатки оппозиции в Италии и объявил себя диктатором. Три года он был единовластным правителем Рима, реорганизовал правительство и взял аристократов-сенаторов под жесткий контроль.

Помпей выгадал, ибо Сулла щедро его наградил. Он послал Помпея на Сицилию, затем в Африку громить дезорганизованных сторонников радикалов, что и было сделано без особых усилий.

Победы достались легко, и довольные войска провозгласили Помпея Великим, так что он стал Гнеем Помпеем Магном — единственным римлянином, носившим это крайне неримское имя. В некоторых источниках говорится, что он получил это имя из-за сильного физического сходства с Александром Великим, но, вероятно, это сходство существовало только в собственном воображении Помпея.

После африканских побед Сулла приказал Помпею распустить его армию, но Помпей отказался, предпочтя остаться в кругу преданных людей. Обычно Сулле не перечили, ибо тот до завтрака вполне мог без угрызений совести приказать казнить несколько дюжин провинившихся. Однако Помпей женился на дочери Суллы. Видимо, поэтому Сулла не только смирился с титулом Великий, но и в 79 году до нашей эры позволил юноше отпраздновать триумф, хотя тот еще не достиг минимального для триумфальных шествий возраста.

Почти сразу после этого Сулла, чувствуя свой долг исполненным, отказался от диктаторской власти, но карьера Помпея не пострадала. Он имел хорошую репутацию (основанную на легких победах) и, более того, жаждал дальнейших легких побед.

Например, после смерти Суллы римский генерал Марк Эмилий Лепид выступил против политики Суллы. Реакционный сенат тут же снарядил против него армию под командованием Квинта Катула, а его заместителем стал Помпей. До того момента Помпей поддерживал Лепида, но опять же вовремя угадал победителя. Катул легко разгромил Лепида, а Помпей сумел присвоить себе лавры победителя.

В это время усилились волнения в Испании, последней твердыне радикализма, где заправлял генерал Квинт Серторий. При нем Испания практически не зависела от Рима и имела просвещенное правительство, ибо Серторий был умелым и либеральным администратором. Он хорошо обращался с испанцами, обеспечил им доступ в учрежденный им сенат, организовал школы, где юношей обучали по римскому образу и подобию.

Естественно, испанцы, уже несколько веков оправдывавшие репутацию жестоких и отчаянных воинов, самоотверженно сражались на стороне Сертория и разгромили посланные Суллой римские армии.

И вот в 77 году до нашей эры Помпей, в славном блеске легкой победы Катула над Лепидом, вызвался отправиться в Испанию и заняться Серторием. Сенат охотно согласился, и Помпей со своей армией вышел в поход на Испанию. Проходя через Галлию, он столкнулся с подавленными остатками армии Лепида. Сам Лепид к тому времени уже умер, и его уцелевшими солдатами командовал Марк Брут (чей сын станет знаменитым убийцей).

Справиться со сломленной армией труда не составило, и Помпей предложил сохранить Бруту жизнь, если тот сдастся. Брут сдался, а Помпей тут же приказал его казнить. Еще одна легкая победа,

приправленная предательством, укрепила репутацию Помпея.

Помпей устремился дальше в Испанию, где старый стойкий римский полководец Метелл Пий безуспешно пытался справиться с Серторием. Тщеславный Помпей бросился в бой самостоятельно, и Серторий, первый хороший полководец на жизненном пути Помпея, наголову разбил молокососа. Карьера Помпея могла завершиться там и тогда, но Метелл вовремя подоспел с подкреплениями, и Серторию пришлось отступить. Помпей немедленно заявил о победе и конечно же все заслуги приписал себе. Удача ему не изменила.

Пять лет Помпей оставался в Испании, пытаясь справиться с Серторием, и пять лет ему это не удавалось. А потом фортуна, пока его не подводившая, опять повернулась к нему лицом: заговорщики убили Сертория. Смерть Сертория подкосила испанское сопротивление. Помпей смог сразу же отпраздновать очередную легкую победу и вернуться в 71 году до нашей эры в Рим, объявив об окончательном подавлении мятежа.

Но не заметили ли в Риме, что на это понадобилось целых пять лет?

Все то время, пока Помпей находился в Испании, Италия переживала тяжелые времена и ей некогда было следить за испанскими событиями.

Восстали гладиаторы под предводительством Спартака. Многие обездоленные хлынули в ряды восставших. Два года Спартак (искусный боец) уничтожал все посылаемые против него римские армии и наводил ужас на аристократов. На пике власти под его командованием было 90 000 бойцов и он контролировал почти всю южную Италию.

В 72 году до нашей эры Спартак пробился на север к Альпам, намереваясь покинуть Италию и навсегда обрести свободу в варварских землях се-

вернее Альп. Однако его люди, опьяненные одержанными победами, предпочли остаться в Италии, где было больше добычи. Спартак снова повернул на юг.

Теперь сенаторы поставили во главе армии Марка Лициния Красса, самого богатого и беспринципного римского политического деятеля. В двух сражениях Красс сумел разгромить армию гладиаторов, и в последнем сражении Спартак погиб. Только-только Красс завершил свою сложную миссию, с испанской армией вернулся Помпей и быстренько уничтожил деморализованные остатки армии рабов. Он успешно представил себя победителем восстания гладиаторов — после победы в Испании! — и именно ему, а не бедняге Крассу позволили торжественно въехать в столицу.

Правда, сенаторы занервничали, не очень доверяя Помпею. Слишком много побед тот одержал и слишком популярным становился.

Однако не любили они и Красса (его никто не любил). Ибо несмотря на все свое богатство, Красс не принадлежал к аристократии и все больше злился из-за пренебрежительного отношения к себе сената. Красс начал заигрывать с народом, умело оказывая помощь нуждающимся, а также принялся обхаживать Помпея.

Помпей всегда был падок на лесть и к тому же безошибочно чувствовал победителей. В 70 году до нашей эры он и Красс баллотировались на посты консулов (ежегодно избирались два консула) и были избраны. Став консулом, Красс начал разрушать реформы Суллы десятилетней давности, чтобы ослабить влияние сенатской аристократии на правительство. Помпей, яро поддерживавший Суллу, когда это было политически выгодно, круто развернулся и стал поддерживать Красса, хотя и не всегда со всей душой.

Однако неприятности Рима на этом не закончились. Запад был полностью умиротворен, но неспокойно было на море. В результате римских завоеваний на Востоке были свергнуты прежние стабильные правительства, но ничего столь же стабильного создано вместо них не было. В Восточном Средиземноморье расцвело пиратство. Редкий корабль, особенно с зерном, мог благополучно дойти до Рима, и цены на продовольствие стремительно росли.

Попытки римлян искоренить пиратство потерпели неудачи, отчасти потому, что полководцам, посылаемым с этой миссией, никогда не давали достаточно власти. В 67 году до нашей эры Помпей с помощью интриг добился, чтобы эту задачу поручили ему — но на очень благоприятных условиях. Охваченный паникой из-за нехватки продовольствия сенат клюнул на наживку.

Помпея облекли диктаторской властью над всем средиземноморским побережьем шириной в пятьдесят миль на три года и уполномочили за это время с помощью всего римского флота уничтожить пиратов. Римляне так непоколебимо верили в Помпея, что цены на продовольствие упали, как только разлетелись новости о его назначении.

Помпею повезло; он получил все, чего не имели его предшественники: достаточные силы и достаточную власть. Тем не менее следует признать, что он сработал отлично. Не за три года, а за три *месяца* он очистил Средиземноморье от пиратов.

Если раньше он был популярен, то теперь стал героем Рима.

Теперь у Рима остались проблемы только на востоке Малой Азии, где Понтийское царство с переменным успехом воевало с Римом более двадцати лет. Именно над понтийцами одерживал свои восточные победы Сулла, однако понтийцы продолжа-

ли сражаться. Римский полководец Луций Лициний Лукулл почти разрешил проблему, но он был слишком требователен, и собственные солдаты его ненавидели.

В 66 году до нашей эры, как раз в тот момент, когда достаточно было бы еще одного удара, и с Понтийским царством было бы покончено, армия Лукулла взбунтовалась, и его отозвали. Вместо него на восток послали старого доброго Помпея. Слава Помпея опережала его; армия Лукулла встретила его восторженно и сделала для него то, что не сделала бы для Лукулла. Солдаты выступили против понтийцев и разгромили их. Помпей сделал один последний рывок и, как всегда, потребовал и получил все почести.

Теперь вся Малая Азия находилась либо под прямым правлением Рима, либо управлялась поставленными Римом марионеточными правительствами. А Помпей решил очистить весь Восток. Он выступил на юг и за Антиохией обнаружил остатки империи Селевкидов, образовавшейся после смерти Александра Великого двумя с половиной столетиями ранее. Правил империей ничтожество по имени Антиох XIII. Помпей сверг его и присоединил империю к Риму как провинцию Сирия.

Еще южнее находилась Иудея. Она меньше века была независимой, и правили ею цари из рода Маккавеев. Два представителя рода в то время сражались за трон, и один из них обратился к Помпею.

Помпей сразу же устремился в Иудею и осадил Иерусалим. Город был крепким орешком, поскольку стоял на скале и имел достаточные запасы воды, был обнесен надежными стенами и обычно защищался с фанатическим упорством.

Однако Помпей заметил, что каждые семь дней жизнь в городе затихает. Кто-то объяснил ему, что по субботам, в священный день отдохновения, ев-

реи не сражаются, разве что на них нападут, и даже тогда защищаются без особого рвения. Должно быть, не сразу удалось убедить Помпея в таком смехотворном обычае, но, поверив, он отдал приказ, и его армия в течение нескольких суббот подвозила к стенам осадные орудия без всяких помех, а в очередную субботу атаковала город. Никаких проблем.

Помпей положил конец царствованию Маккавеев и присоединил Иудею к Риму, однако оставил евреям религиозную свободу, храм, первосвященников и странную, но такую полезную субботу.

Помпею тогда было сорок два года, и удача до тех пор никогда ему не изменяла. Сейчас я пропущу одно мелкое событие в жизни Помпея и представлю его рядом звездочек; одно, по видимости, незначительное событие...

* * *

Помпей вернулся в Италию в 61 году до нашей эры, чувствуя себя счастливее всех на свете и хвастаясь (сильно преувеличивая), будто расширил границы мира. Такого грандиозного торжественного въезда в столицу Рим никогда прежде не видел.

Сенат до смерти перепугался, что Помпей объявит себя диктатором и вступит в союз с радикалами. Этого Помпей не сделал. Однажды, двадцатью годами ранее, он сохранил свою армию, хотя рисковал навлечь недовольство Суллы, а теперь что-то заставило его распустить армию и стать обычным гражданином. Может, он был убежден, что достиг вершины, где чистая магия его имени позволит ему властвовать в республике.

В конце концов интуиция подвела его, а подведя один раз, покинула навсегда.

Для начала Помпей попросил сенат одобрить все его свершения на Востоке: его победы, договора, низложение царей, учреждение провинций. Он также попросил сенат выделить землю его солдатам, как он им обещал. Он был уверен, что стоит только попросить, и дадут.

Вовсе нет. Помпей теперь был человеком без армии, и сенат настоял на отдельном и тщательном изучении каждого акта, а пожаловать солдатам земли отказался.

Более того, Помпей обнаружил, что в правительстве у него нет друзей. Вдруг оказалось, что его огромная популярность ничего не значит, поскольку все группировки ополчились на него без видимых причин. А самое главное — Помпей ничего не мог с этим поделать. Что-то произошло, и он уже не многообещающий умница Помпей, каким был до 64 года, а неуверенный в себе, нерешительный и слабый.

Даже Красс ему больше не друг. Красс нашел другого: красивого, обаятельного, красноречивого гения интриги — Юлия Цезаря. Красс выплатил огромные долги повесы-аристократа, и Цезарь служил ему верой и правдой.

Пока Помпей боролся с сенатом, Цезарь в Испании одерживал мелкие победы над мятежными племенами и собирал награбленное (как и все римские полководцы), чтобы расплатиться с Крассом и обрести независимость. Вернувшись в Италию и увидев разъяренного борьбой с сенатом Помпея, Цезарь организовал союз, в который вошли он сам, Красс и Помпей, — Первый триумвират.

Однако выиграл от этого союза не Помпей, а Цезарь. Цезарь использовал триумвират, чтобы избраться консулом в 59 году до нашей эры. Став консулом, Цезарь контролировал сенат с удивительно пренебрежительной легкостью, посадив второго консула, реакционера, под домашний арест.

Правда, Цезарь заставил аристократов сената выполнить все требования Помпея. Были ратифицированы все договора Помпея и пожалованы земли его солдатам... и все равно он ничего не выгадал. На самом деле он испытал унижение, ведь было ясно, что он выпрашивал милостыню и Цезарь изящно его облагодетельствовал.

Помпей ничего не мог поделаться, поскольку был женат на Юлии, дочери Цезаря. Помпей безумно обожал красавицу жену и, пока был на ней женат, не мог перечить Цезарю.

Цезарь теперь всем заправлял. В 58 году до нашей эры он предложил на пять лет передать себе, Помпею и Крассу по провинции, где они могли бы одерживать военные победы. Помпею предназначалась Испания, Крассу — Сирия, а Цезарю — южная Галлия, находившаяся тогда под римским правлением.

Помпей пришел в восторг. В Сирии Крассу предстояло иметь дело с грозным Парфянским царством, а в Галлии Цезарю — со свирепыми варварами Севера. Если повезет, оба потерпят поражение, поскольку ни один из них не был профессиональным военным. Что касается Помпея, то в Испании спокойно; живи себе в Италии и контролируй испанское правительство. Можно ли просить от жизни большего?

На первый взгляд, если Помпей размышлял именно так, то вроде бы его старый нюх на победу вернулся. К 53 году до нашей эры парфяне разбили армию Красса на востоке Сирии, а сам Красс был убит.

А что же Цезарь? Нет, удача к Помпею *не* вернулась. К удивлению всех римлян, в Цезаре, доселе считавшемся повесой и интриганом, с возрастом (когда он отправился в Галлию, ему было сорок четыре года) прорезался исключительный военный

талант. Пять лет Цезарь сражался с галлами, захватывая населенные ими обширные территории, совершая успешные набеги на Германию и Британию. Он описал свои приключения в «Комментариях» для читающей римской общественности, и неожиданно у Рима появился новый военный герой. А Помпей, бездельничавший в Италии, чуть не умер от разочарования и зависти.

Когда в 50 году до нашей эры Цезарь вернулся из Галлии, сенат приказал ему распустить армии и войти в Италию в одиночку. Было ясно, что если Цезарь подчинится, то будет арестован и, возможно, казнен. А если он не подчинится сенату и приведет с собой свою армию?

— Не бойтесь, — уверенно заявил Помпей. — Стоит мне топнуть ногой, и легионы поддержат нас.

В 49 году Цезарь вместе со своей армией пересек реку Рубикон, границу Италии. Помпей тут же топнул ногой... и ничего не произошло. Наоборот, солдаты, расквартированные в Италии, стали толпами переходить под знамена Цезаря. Униженные Помпей и его сенатские союзники были вынуждены бежать в Грецию.

Цезарь с армией последовал за ними.

В Греции Помпей умудрился собрать значительную армию, а Цезарь сумел переправить через море не так уж много людей, и теперь у Помпея было преимущество. Он мог воспользоваться своим численным превосходством, отрезать Цезаря от его базы и, не вступая в рискованное сражение, осторожно преследовать, изматывать и морить голодом.

Но дело в том, что униженный Помпей, вспоминая о прежних временах, хотел разгромить Цезаря в открытом бою и показать выскочке, что такое *настоящий* полководец. И Помпей позволил себя уговорить. В конце концов его армия по численности вдвое превышала отряд Цезаря.

Сражение произошло в Фарсале (Фессалия) 29 июня 48 года до нашей эры.

Особые надежды Помпей возлагал на свою кавалерию, состоявшую из галантных юных римских аристократов. Да, в начале сражения кавалерия Помпея обошла фланг армии Цезаря и вполне могла нанести удар с тыла, что привело бы к поражению Цезаря. Однако Цезарь это предвидел и для встречи кавалерии подготовил отборных бойцов, приказав им не бросать копья, а использовать их как пики, поражая лица всадников. Он предчувствовал, что аристократы не захотят уродоваться, и оказался прав. Кавалерия обратилась в бегство.

Избавившись от кавалерии Помпея, Цезарь направил пехоту на более многочисленные, но и более уязвимые ряды противника. Помпей, не привыкший командовать терпящими поражение войсками, бежал. Одним ударом была разрушена вся его военная слава, и стало ясно, что настоящий полководец не Помпей, а Цезарь.

Помпей бежал в единственную средиземноморскую страну, не находившуюся под полным контролем Рима, — в Египет. Однако Египет был в то время охвачен гражданской войной. Мальчик-фараон, тринадцатилетний Птолемей XII, воевал со своей старшей сестрой Клеопатрой, и появление Помпея создало лишнюю проблему. Политики, поддерживавшие юного Птолемея, не осмеливались выгнать Помпея и нажать в лице римского полководца еще достаточно грозного врага. С другой стороны, они не смели предоставить ему убежище, боясь, что Цезарь в отместку поддержит Клеопатру. В общем, они позволили Помпею высадиться на берег и убили его.

Вот так в пятьдесят шесть лет закончилась жизнь Помпея.

До сорока двух лет ему постоянно везло; все его начинания были успешными. После сорока двух лет он постоянно терпел неудачи; ни одно из его начинаний не увенчалось успехом.

Что случилось, когда ему было сорок два года? Какое из событий, перечисленных выше, могло бы это объяснить? Ну, давайте вернемся назад и заполним пробелы.

* * *

Мы снова в 64 году до нашей эры.

Помпей в Иерусалиме изумляется странной религии евреев. Что еще они делают, кроме празднования Шаббата? Он начал собирать информацию.

Например, их храм. По римским стандартам, он довольно мал и неказист, но безгранично почитаем всеми евреями и отличается от всех других храмов в мире: в нем нет скульптурных изображений бога или богини. Словно евреи преклоняются невидимому богу.

— Неужели? — удивился Помпей.

Ему рассказали, что в храме за покровом есть внутреннее помещение, Святая Святых. Только первосвященник может пройти за покров, и только в День всепрощения, йом киппур. Поговаривали, что евреи тайно поклоняются там ослиной голове, но, конечно, сами евреи считали, что в том помещении ощущается невидимое присутствие бога.

Помпей, не отягощенный предрассудками, решил, что выяснить правду можно только одним способом: заглянуть в тайное помещение.

Первосвященник потрясен, евреи раздражаются криками отчаяния, но Помпей неумолим. Ему любопытно, и его защищает армия. Кто мог его остановить? И он вошел в Святая Святых.

Евреи не сомневались, что оскорбленный бог поразит его молнией или еще как-то погубит, но ничего не случилось.

Помпей вышел в полном здравии. Он ничего не нашел, и как будто ничего с ним не произошло, *как будто*¹.

Глава 15

БИЛЛ И Я

Я сейчас пишу книгу об эпической поэме лорда Байрона «Дон Гуан» («Дон Жуан»). Поэма является неприкрытой сатирой; Байрон высмеивает всех и все, что вызывает его неприязнь. Он жесток до садизма по отношению к монархам Британии, к ее выдающимся поэтам, к ее величайшим полководцам и так далее.

Но самые саркастические нападки достаются его критикам. Байрон не любил критику и неизменно наносил ответный удар.

Ну, насколько я знаю, все писатели плохо воспринимают критику. Однако большинство из нас выказывает стоическое безразличие и страдает за закрытыми дверями.

Увы, для меня стоическое безразличие невозможно. Мое открытое лицо — чистая страница, на которой ясно отражается каждая эмоция (как мне говорят), и не думаю, что мне когда-либо удавалось притворяться стойком хотя бы полсекунды. На самом деле, когда меня критикуют несправедливо, все, кто находится в пределах слышимости, это узнают.

Естественно, опубликовав недавно двухтомный труд, озаглавленный *Asimov's Guide to Shakespear*

¹ Если вы решили, что я сам превращаюсь в мистика, пожалуйста, перечитайте вступление к этой главе.

(«Азимовский путеводитель по Шекспиру»), я постарался собрать все свое мужество, чтобы подготовиться к неизбежному. Книга непременно попала бы в руки какого-нибудь шекспироведа, который упал бы в обморок при мысли, что любитель посмел вторгнуться на священную территорию.

И действительно, самый первый полученный мною отзыв начинался так: «Что делает Айзек Азимов, стряпающий истории о космических пришельцах, в...»

Конечно, дальше я не читал. Тот факт, что я пишу научно-фантастические романы, не имеет никакого отношения к этой книге и может быть упомянут только потому, что рецензент считает фантастику несколько ниже (или не несколько) высокой литературы.

Я искал печатный ответ и не нашел, так что пойдем дальше.

Вторая рецензия была гораздо интересней. Она появилась в одной из газет в Кентукки и была написана человеком, которого я назову мистер Икс. Начиналась она так: «Айзек Азимов является помощником профессора биохимии в Бостонском университете и плодовитым писателем во многих отраслях знаний. Я читал некоторые из его научных трудов с величайшим вниманием и уважением».

Пока все хорошо. Я в восхищении.

Но чуть позже он говорит: «Однако в этой книге он покинул залитые солнцем тропы естественных наук ради коварных литературных болот...»

Похоже, ему не нравится, что я комментирую пьесы, объясняю все исторические, легендарные и мифологические ссылки; он возмущен моей «книгой примечаний»; он думает о «языке, поэзии, красоте и величии произведений Шекспира».

А кто об этом не думает? Я восхищен тем, что мистеру Иксу хватает ума понимать язык и по-

эзию без моих объяснений. И если *он* в них не нуждается, то следует ли говорить за всех?

Однако заметьте, что он не считает ниже своего достоинства следовать за мной по «залитым солнцем тропам естественных наук». Он даже читает мои научные труды «с величайшим вниманием и уважением».

Я этому рад и могу лишь предположить, как он благодарен мне за то, что я беру на себя бремя научных примечаний, дабы он мог насладиться их неувловимыми красотами.

А ведь я мог бы сказать мистеру Иксу: «Логарифм двух есть трансцендентное число; логарифм любого целого числа к любому интегральному основанию есть трансцендентное число, кроме тех случаев, где целое число равно основанию или степени этого основания».

Тогда Мистер Икс вполне правомерно спросил бы: «Что такое трансцендентное число, логарифм, а также степень и основание?»

Вообще-то, если бы он был истинно глубоким мыслителем, то спросил бы: «Что такое два?»

И пусть я ответил бы, что мое утверждение несет в себе всю поэзию и симметрию и красоту математики («Только Евклид наслаждался чистой красотой») и что пытаться его объяснить — значит просто разрушить всю красоту. И если мистеру Иксу что-то неясно, то тем хуже для него. Он просто не так умен, как я, и может идти к черту.

Но я так *не* отвечаю. Я объясняю и подобное, и гораздо больше, хотя это весьма хлопотно, а потом он читает мои объяснения «с величайшим вниманием и уважением».

Ученые обычно признают важность объяснения науки не ученому. Тогда интересно и весьма печально наличие гуманистов, чувствующих себя собственниками своей сферы, присваивающих

себе литературу, бормочущих о «языке, поэзии» и не понимающих необходимости объяснений в то время, как они сами вдыхают аромат амброзии.

Возьмем конкретный случай. В последнем акте «Венецианского купца» Лоренцо и Джессика наслаждаются идиллией в поместье Порции в Вельмонте. Лоренцо говорит:

Сядь, Джессика. Взгляни, как небосвод
Весь выложен кружками золотыми,
И самый малый, если посмотреть,
Поет в своем движении, точно ангел,
И вторит юнооком херувимам.
Гармония подобная живет
В бессмертных душах; но пока она
Земною, грязной оболочкой праха
Прикрыта грубо, мы ее не слышим¹.

По-моему, этот отрывок прекрасен, ибо я так же тонко чувствую красоту и поэзию слов, как мистер Икс; может быть (если это возможно), еще тоньше.

Ну а вдруг кто-нибудь спросит: «Что такое кружки?»

В конце концов, это не такое уж обычное слово. Разрушится ли красота отрывка от тихого замечания: «маленькие диски»?

А если кто-нибудь спросит: «Что он имеет в виду под ангельским пением в движении? Что такое движение? Что такое пение?»

Должен ли я понимать, что достаточно ответа: «Нет! Только прислушайтесь к словам, к прекрасным выражениям и не задавайте обывательских вопросов».

Испортит ли красоту языка Шекспира понимание смысла его слов? Или существуют гуманисты,

¹ Цитируется по восьмитомнику Шекспира, перевод Г.Л. Щепкиной-Куперник. (Примеч. пер.)

хотя и понимающие в эстетике, но плохо знающие историю науки? Они не понимают, что говорит Билл, и не хотят задавать вопросы.

Тогда создадим прецедент. Я объясню этот отрывок гораздо детальнее, чем сделал это в своей книге, только для того, чтобы показать, как много скрыто в сих прекрасных словах...

Любой, кто смотрит на небо абсолютно просто-душно, не имея преимуществ астрономического образования и желая судить лишь по виду, вероятно, придет к выводу, что Земля накрыта гладким ровным куполом из какого-то твердого и прочного материала, голубого днем и черного ночью.

Под этим твердым куполом находится воздух и плывут облака. Над ним есть другой мир, мир богов и ангелов, куда поднимаются бессмертные души людей после смерти и разложения тела.

В сущности, именно так смотрели на мир, к примеру, жители Ближнего Востока на заре истории. На второй день создания, говорит Библия: «И сказал Бог: да будет твердь посреди воды, и да отделяет она воду от воды. И создал Бог твердь; и отделил воду, которая под твердью, от воды, которая над твердью» (Быт., 1: 6—7).

Слово «твердь» происходит от латинского слова *firmamentum*, что означает нечто твердое и прочное. Это перевод греческого слова *stereoma*, которое означает нечто твердое и прочное и является переводом оригинального слова на иврите *raqia*, под которым подразумевается тонкая металлическая чаша.

По библейским представлениям, вода была под твердью (очевидное) и вода была над твердью, дожди. Вот почему отмечено, что во время Ноева потопа «...разверзлись все источники великой без-

дны, и окна небесные отворились» (Быт., 7: 11). Конечно, это выражение можно считать метафорой, но я уверен, что простодушные воспринимали его буквально.

Бесполезно смеяться над этим с высоты нашего собственного, в муках приобретенного знания. Около 700 года до нашей эры, когда впервые собиралось Бытие, представление о небе как твердом своде с другим миром над ним было разумным заключением, сделанным из доступных фактов.

Более того, в 700 году до нашей эры было бы вполне разумно предположить, что твердь растянута лишь над ограниченной частью плоской Земли. Видно было, как она крепко смыкается с Землей на горизонте. В древние времена мало кто из людей путешествовал далеко от дома и мир для них сводился лишь к нескольким милям во все стороны. Даже солдаты и купцы, преодолевавшие расстояния побольше, возможно, чувствовали, что Земля больше, чем кажется, но мир до расширившегося горизонта все еще плоский и все еще замкнутый со всех сторон соединением тверди и земли. (Это очень похоже на средневековую точку зрения и, возможно, на точку зрения многих наших неискренних современников.)

Однако греческие философы, по ряду веских причин, пришли к выводу, что Земля *не* более-менее плоский объект весьма ограниченного размера, а сфера, достаточно большая, чтобы известный мир казался маленьким.

Тогда твердь, растянущаяся вокруг сферической Земли, причем симметрично, должна быть еще одной, но гораздо большей сферой. Кажущаяся плоскость тверди над головой, вероятно, иллюзия (так и есть!), и греки говорили о том, что мы называли бы «небесной сферой», как о противоположности «земной сферы».

Однако ничто из этого не изменило концепции тверди (небесной сферы) как созданной из чего-то твердого. Тогда что же такое звезды?

Естественно, первая мысль: звезды — точно то, чем они кажутся, а именно крошечные светящиеся диски, вставленные в твердь («Взгляни, как небосвод весь выложен кружками золотыми»).

Во-первых, опыт подсказывал, что звезды не падают, как падали бы, если бы не были прикреплены к небесной сфере. Во-вторых, звезды огибали Землю за двадцать четыре часа, вращаясь вокруг Полярной звезды (другая точка невидима за южным горизонтом) и не меняя своего относительного расположения от ночи к ночи, от года к году.

Если бы звезды были свободно подвешены где-то между небесной сферой и Землей и по какой-то причине не падали, то наверняка они не двигались бы вообще, а если бы двигались, то независимо друг от друга. Нет, гораздо разумнее было предположить, что все они прикреплены к небесной сфере и что поворачивается именно небесная сфера, неся с собой все звезды.

Но, увы, это толкование небес — прекрасное и очень простое — не объясняло всего.

Вот Луна явно не была прикреплена к небесной сфере, ибо не сохраняла фиксированного положения относительно звезд. В одну ночь она находилась на определенном расстоянии от одной звезды, восточнее на следующую ночь, еще восточнее на следующую. Луна упорно двигалась с запада на восток так, словно чуть больше чем за двадцать семь дней совершала кругооборот на звездном небе.

Солнце тоже двигалось с запада на восток относительно звезд, хотя гораздо медленнее. Конечно, его движение не поддавалось прямому наблюдению, поскольку по соседству не видно звезд, с ко-

торыми можно было бы сравнить его положение. Однако ночная конфигурация звезд менялась от ночи к ночи, поскольку Солнце явно двигалось и день ото дня заслоняло несколько разные части неба. Таким образом смогли определить, что Солнце как будто совершало кругооборот на небе чуть больше чем за 365 дней.

Если бы Солнце и Луна оказались единственными исключениями, то все было бы не так плохо. В конце концов они могли очень сильно отличаться от звезд и вряд ли подчинялись тем же самым правилам.

Поэтому евреи в своем мифе о создании отнесли к Солнцу и Луне как к особым случаям. На четвертый день создания «И создал Бог два светила великие: светило большее для управления днем, и светило меньшее для управления ночью, и звезды» (Быт., 1: 16).

Сегодня нам может показаться забавным такое бесцеремонное отношение к звездам, но оно вполне оправдано, если вспомнить представления древних евреев: все звезды прикреплены к тверди и служат только фоном, на котором можно изучать движения Солнца и Луны.

Однако потом выяснилось, что некоторые из более ярких звезд также движутся аномально и изменяют свое положение на фоне других звезд. На самом деле их движение было еще более странным, чем движение Луны и Солнца, ибо, хотя большую часть времени они двигались с запада на восток относительно звезд, как Луна и Солнце, иногда они поворачивали и двигались с востока на запад. Очень странно!

Греки называли эти звезды *планетами*, то есть «блуждающими», по сравнению с «закрепленными звездами». Семь планет были определены. Они включали пять ярких звезд, которые мы теперь на-

зывается Меркурием, Венерой, Марсом, Юпитером и Сатурном, и конечно же Солнце и Луну.

Что же с ними делать? Ну, как и звезды, планеты не падали, и, как и звезды, они двигались вокруг Земли. Следовательно, как и звезды, они должны были прикрепляться к какой-то сфере. Поскольку каждая из семи планет двигалась с отличной от других скоростью и своим собственным образом, каждой пришлось выделить отдельную сферу, одну вложенную в другую, и все — внутри звездной сферы.

Так родилось представление не об одной небесной сфере, а о небесных сферах — во множественном числе.

Увидеть можно было только одну небесную сферу — голубую сферу тверди. Однако существование других — невидимых — сфер не оспаривалось, ибо они просто считались прозрачными. Их иногда называли «кристаллическими сферами», где слово «кристаллический» использовалось в своем старом значении «прозрачный».

Затем греки попытались рассчитать точки вращения этих различных сфер и определить, как они должны вращаться, чтобы каждая планета двигалась в соответствии с наблюдениями. Чтобы теория совпала с наблюдениями, приходилось добавлять бесконечные сложности, но теория кристаллических сфер держалась две тысячи лет не потому, что мыслящие люди упорствовали в своей глупости, но просто ничто больше не соответствовало наблюдениям.

Даже когда Коперник предположил, что Солнце, а не Земля является центром Вселенной, он не отказался от сфер. Он просто заставил сферы вращаться вокруг Солнца, а Землю прикрепил к одной из них. И только Иоганн Кеплер...

Впрочем, детали движений кристаллических сфер в этой статье нас не волнуют. Лучше рассмот-

рим кажущийся более простым вопрос: в каком порядке вложены сферы? Если бы нам пришлось путешествовать вне Земли, какую сферу мы встретили бы первой, какую следующей и так далее?

Греки предположили, что ближайшая сфера должна быть самой маленькой и, следовательно, делать полный оборот за кратчайшее время. Поскольку Луна делает полный оборот на фоне звезд примерно за четыре недели (гораздо меньшее время, чем у любой другой планеты), ее сфера должна быть ближайшей.

Следуя этой логике, греки решили, что следующей сферой должна быть сфера Меркурия; затем, в порядке возрастания, Венеры, Солнца, Марса, Юпитера и Сатурна. И наконец, безусловно, звездная сфера.

А насколько далеко расположены эти сферы и каковы их действительные расстояния от Земли?

Это, к сожалению, оказалось вне компетенции греков. Правда, греческий астроном Гиппарх около 150 года до нашей эры использовал эффективнейший метод (вслед за еще более ранним астрономом Аристархом) для определения расстояния до Луны и поместил ее на расстоянии в тридцать раз большем земного диаметра, что верно, но расстояния до других небесных тел с приемлемой точностью определили только в XVII веке нашей эры.

Теперь сменим декорации. Около 520 года до нашей эры греческий философ Пифагор, пощипывая струны музыкального инструмента, обнаружил, что звуки гармонично сочетаются, если длины струн имеют простое соотношение. Одна струна может быть в два раза длиннее другой; или соотношение длин трех струн 3 : 4 : 5.

Подробности нас не интересуют, но Пифагору связь между приятными звуками и маленькими целыми числами показалась очень важной. Это соответствовало весьма мистическому представлению о том, что все во Вселенной связано простыми пропорциями и числами.

Последователи Пифагора после его смерти подчеркивали мистицизм, и пифагорейцам казалось, что теперь у них в руках способ решения не только вопроса о движении планет, но и о причинах этого движения. Поскольку числа правили Вселенной, то появлялась возможность установить, как Вселенная устроена.

Например, 10 — особенно впечатляющее число. (Почему? Ну, например, $1 + 2 + 3 + 4 = 10$, и это как будто имеет мистический смысл.) И чтобы Вселенная хорошо функционировала, она должна состоять из десяти сфер.

Конечно, сфер было всего восемь: одна для звезд и одна для каждой из семи планет, но это пифагорейцев не остановило. Они решили, что Земля движется вокруг некоего центрального огня, а Солнце является только его отражением, и это объясняет, почему центральный огонь невидим. Так добавилась девятая сфера для Земли. К тому же они предположили, что на противоположной от центрального огня стороне есть еще одна планета контр-Земля. Контр-Земля движется «в ногу» с Землей и всегда остается за центральным огнем, а потому никогда не видна. Ее сфера — десятая.

Еще пифагорейцы думали, будто сферы вложены одна в другую таким образом, что расстояния между ними находятся в простом соотношении друг с другом и в результате при движении издают гармоничные звуки (как пощипывание струн, длины которых составляют простую пропорцию). Я думаю, что вначале пифагорейцы использовали

представление о гармоничных звуках только как метафору, чтобы выразить расстояния, находящиеся в простой пропорции, но более поздние мистики восприняли звуки буквально. Они стали «музыкой сфер».

Несомненно, никто никогда не слышал музыки с небес, так что пришлось предположить, что она не слышна людям Земли. Вот почему у Шекспира «поет в своем движенье, точно ангел», но звуками, слышимыми только на небесах («гармония подобная живет в бессмертных душах»). Пока души людей окутаны земными телами, люди глухи к небесной музыке («пока она земною, грязной оболочкой праха прикрыта грубо, мы ее не слышим»).

Ну и как? Портит ли красоту речи Лоренцо ее объяснение с точки зрения древней астрономии? Не кажется ли вам, что понимание усиливает интерес? Не исчезает ли мучительный вопрос «Но что же это означает?», отвлекающий от оценки этого отрывка?

Конечно, быть может, мистер Икс из тех, кто никогда не спрашивает: «Но что же это означает?» Быть может, понимание для него излишне. Если так, то мы с ним не единомышленники. Быть может даже, мистер Икс — некий мракобес, полагающий, что понимание умаляет красоту. Если так, то мы с ним расходимся еще больше.

И все же позвольте мне отметить, что в этом самом отрывке есть нечто, способное представлять интерес для исследователей Шекспира, *если бы они точно понимали, о чем говорит Шекспир.*

Как почти всем известно, многие считают, что Шекспир не был автором приписываемых ему пьес. Им кажется, что автор — кто-то другой, и чаще все-

го называют Фрэнсиса Бэкона, который практически был современником Шекспира.

Чаще всего приводят такой довод: мол, Шекспир был всего лишь малообразованным провинциалом, а потому не мог написать пьес, для которых необходимы глубокие научные познания. С другой стороны, Бэкон был великим философом и одним из самых образованных людей своего времени. Следовательно, Бэкон легко мог быть автором пьес.

Исследователи Шекспира, все это оспаривающие, вынуждены признать, что Шекспир был гораздо более образованным человеком, чем его считали, и, следовательно, знал достаточно для написания своих пьес. Поскольку о жизни Шекспира почти ничего неизвестно, такими рассуждениями спор никогда не удастся уладить.

Почему бы тогда не подойти к проблеме с другой стороны и доказать, что Бэкон был *слишком* образован для того, чтобы написать пьесы Шекспира, что в пьесах встречаются ошибки, которых Бэкон никогда бы не сделал и которые вполне подходят малообразованному парню из захолустья?

Присмотримся к речи Лоренцо. Лоренцо говорит о звездах: «кружки золотые», которыми «небосвод весь выложен». Лоренцо (следовательно, Шекспир), похоже, думает, что каждая звезда имеет отдельную сферу и каждая издает свой собственный звук («И самый малый, если посмотреть, / Поет в своем движенье, точно ангел»).

Если вы полагаете, что я неправильно толкую его речь, возьмем более ясный случай.

Во II акте «Сна в летнюю ночь» Оберон напоминает Пэку (Паку) о том, как они слушали русалку, поющую с такой сверхъестественной красотой, что

...сам грубый океан
Учтиво стихнул, внемля этой песне,
А звезды, как безумные, срывались
С своих высот (со сфер своих), чтоб слушать песнь...¹

Использование множественного числа — «сфер» — снова доказывает, что, по мнению Шекспира, у каждой звезды своя отдельная сфера.

Это неверно. У каждой планеты есть сфера; одна сфера — у самой Земли; одна — у контр-Земли; одна у любой воображаемой планеты. Однако, по всем древним теориям, звезды прикреплены к единственной сфере.

Шекспир не раз в своих пьесах говорит об отдельных сферах для каждой звезды, что демонстрирует недостаточное знание греческой астрономии, невозможное для Фрэнсиса Бэкона. Следовательно, Фрэнсис Бэкон никак не мог быть автором пьес Шекспира.

Ну, не поймите меня неправильно. Я не говорю, что получал только негативные отклики на мой «Путеводитель по Шекспиру». На самом деле большинство откликов было вполне положительным, и я их читал с огромным удовольствием.

И все равно мне пора начинать готовиться к отклику «разъяренного специалиста», который я наверняка получу, когда будут изданы «Азимовские примечания к Дон Жуану» (Asimov's Annotated «Don Juan»).

¹ Там же.

Часть шестая

ПРОБЛЕМА НАСЕЛЕНИЯ

Глава 16

СТОП!

Как, вероятно, известно моим милым читателям, меня можно уговорить выступать с речами по вечерам. (К сведению будущих уговорщиков: сразу предупреждаю, что самый лучший способ убеждения — чек на крупную сумму.)

Меня, конечно, обычно представляют аудитории, и эти представления бывают очень разными. Ясно, что короткое вступление лучше длинного, поскольку длинная вступительная речь утомляет аудиторию и усложняет задачу оратора.

И опять же, скучное вступление лучше остроумного, поскольку впечатление, в сравнении с остроумным вступлением, может сильно пострадать; воодушевленные слушатели слишком критично отнесутся к главной речи.

Нет нужды говорить, что самое худшее из возможных вступление — и длинное, и остроумное, и вечером 20 апреля 1970 года в Пенсильванском университете, — именно это на меня и свалилось.

Фил Класс (гораздо лучше известный любителям научной фантастики как Уильям Тенн) является профессором английского языка в этом университете, и, естественно, именно ему выпало представлять меня. Зловеще улыбаясь, он поднялся и

пылко выступал пятнадцать минут, а около двенадцати тысяч слушателей покатывались со смеху (надо мной, разумеется). Ужас охватил меня. Как я мог выступать после него! Он был слишком хорош. Естественно, я решился на убийство, как только доберусь до него, но сначала следовало как-то пережить собственное выступление.

И вдруг в самую последнюю минуту Фил (я уверен, непреднамеренно) спас меня. Он заключил свою речь словами: «Я вовсе не собирался внушить вам, что Азимов — человек разносторонних интересов. В конце концов он никогда не пел в «Риголетто» в «Метрополитен-опера».

Я сразу воспрянул духом, встал, улыбаясь, со своего места и поднялся на сцену. Дождавшись, пока затихнут вежливые аплодисменты, без всяких вступительных слов я завел знаменитый квартет из «Риголетто» «*Bella figlia dell'amore...*».

Впервые в жизни я так сильно рассмешил аудиторию первыми же четырьмя словами, и потом у меня не было никаких проблем.

Я все это вам рассказываю, поскольку в апреле 1970 года я прочел девять лекций, которые, несмотря на «Риголетто», вовсе не были смешными. В том месяце впервые отмечался День Земли, и все те девять моих речей были посвящены надвигающейся катастрофе.

Я обсуждал эту катастрофу в последних главах предыдущей книги *The Stars in Their Courses* (Doubleday, 1971) и совершенно определенно выразил свое мнение: главное — остановить рост населения на Земле. Без этого ни при каких условиях не решить ни одной из проблем человечества, *ни одной!*

Итак, вопрос: как можно остановить прирост населения?

Поскольку это сейчас самый важный и, по существу, единственный важный вопрос, с которым сталкиваются футуристы, поскольку писатели — научные фантасты были футуристами задолго до изобретения этого слова и поскольку я считаю себя одним из ведущих научных фантастов, то полагаю своим долгом попытаться ответить на этот вопрос.

Для начала признаем, что для того, чтобы остановить прирост населения, существует всего два пути: мы можем увеличить уровень смертности или уменьшить уровень рождаемости. (Понятно, что можно сделать и то и другое, но оба пути независимы и могут обсуждаться по отдельности.)

Начнем с увеличения уровня смертности и рассмотрим все возможности.

А. УВЕЛИЧЕНИЕ УРОВНЯ СМЕРТНОСТИ

1. Естественное увеличение

Это система, использовавшаяся для всех видов с зарождения жизни. Это система, служившая ограничению населения всю историю человечества. Когда продовольствия становилось мало, люди умирали от голода, голодающие становились легкой добычей болезней, убивали друг друга в борьбе за имеющиеся продовольственные запасы, вели армии в другие регионы, где пищи было больше. По всем этим причинам уровень смертности резко возрастал и численность населения уменьшалась и приходила в соответствие с количеством продовольствия.

Мы имеем здесь «четырёх всадников Апокалипсиса» (см. шестую главу библейской книги «Откровение Иоанна Богослова») — войну, гражданские конфликты, голод и мор.

Современная наука значительно ослабила силу третьего и четвертого всадника: голод и мор уже не те, что прежде. Смертность по этим причинам после 1850 года резко снизилась по сравнению с предыдущим тысячелетием, и именно научными достижениями объясняется бурный рост населения.

Однако можно представить, что, если население продолжит расти в течение еще одного поколения, усилия науки разобьются о реальность. Все четыре всадника вернут свое господство, уровень смертности резко повысится.

Возможно, кто-то мне возразит: ну, такова жизнь. Самые приспособленные выживают, и человечество становится все сильнее через естественный отбор.

Вовсе нет! В этой точке зрения, несмотря на всю ее бесчеловечность, была бы некоторая справедливость, если бы человечество было вооружено каменными топорами и копьями или хотя бы пулеметами и танками. К несчастью, в нашем распоряжении имеется ядерное оружие и, когда четыре всадника отправятся в свой жуткий поход, наверняка будут использованы ядерные бомбы.

Человечество, живущее в трущобах мира, взорванного термоядерной войной, *не* будет сильнее, чем когда-либо. Ему придется выживать не только в руинах уничтоженной технологии, но и посреди зараженной почвы, моря и атмосферы, которые больше не будут поддерживать высокоорганизованную жизнь.

Нам необходимо что-то получше.

2. Направленное общее увеличение а. *Принудительное*

Вместо пассивного ожидания, пока естественный ход событий подстегнет катастрофический рост уровня смертности, можно было бы выпустить

пар, из года в год принося в жертву выбранную наобум часть населения. Предположим, что перепись населения оценила годовой прирост мирового населения на 10 процентов выше оптимального. В таком случае можно было бы избавляться от каждого десятого¹.

Практически единственное, что можно сказать об этом методе, это то, что он вряд ли лучше термоядерной войны. Я не думаю, что хотя бы один нормальный человек станет рассматривать его при наличии альтернативы.

б. Добровольное (сознательное)

Беспорядочное убийство может стать добровольным, если создать общество, нацеленное на самоубийство². В таком обществе самоубийство можно было бы представить привлекательным или ярким обещанием жизни после смерти или материальными финансовыми выгодами для покидаемой семьи.

Однако я почему-то сомневаюсь, что любое убеждение без физического принуждения или эмоционального безразличия сподвигнет достаточное количество людей убить себя, чтобы остановить прирост населения. Даже если такое случится, общество, сделавшее ставку на смерть и без колебаний воплотившее свой замысел, несомненно не будет считаться здоровым.

3. Направленное специализированное увеличение

а. Неполноценность

Если уж мы должны убивать, то нельзя ли несколько нейтрализовать кошмар, поставив убийство на службу какой-либо полезной цели. Пред-

¹ В *The Census Takers*, прекрасном научно-фантастическом рассказе Фредерика Пола, описана именно эта ситуация.

² У Гора Видала в «Мессии» есть нечто подобное.

положим, мы убьем или (более гуманно) стерилизуем ту часть населения, которая делает наименьший вклад в человечество, другими словами, его «неполноценную» часть.

На самом деле такая политика проводилась неоднократно, хотя обычно не из-за обоснованной стратегии ограничения населения. Во всю историю Земли победившая страна обычно полагала, что ее народ превосходит завоеванный, и побежденных ничтоже сумняшеся убивали или обращали в рабство.

Завоеватели проявляли разную степень бесчеловечности. В древности, похоже, самыми жестокими были ассирийцы, уничтожавшие все мужское население захваченных городов; в Средние века тем же прославились монгольские завоеватели. В современной истории нацисты под руководством Гитлера более сознательно и предумышленно взялись уничтожать тех, кого считали представителями низших рас.

Эта политика могла стать популярной только среди тех, кто обладал властью и был достаточно бесчеловечным, чтобы объявить себя высшим сортом (и не всегда среди себе подобных). Большая часть человечества обречена быть победителями, и не следует ожидать одобрения от меньшей его части. Ассирийцы, монголы и нацисты — ко всем ним относились почти со всеобщим омерзением, как в их эпоху, так и позже.

Есть индивидуумы, которых мир, как правило, считает неполноценными — врожденные идиоты, убийцы-психопаты и так далее, — но таких людей очень мало.

б. Старость

Тогда, вероятно, людей можно убивать безотносительно к таким категориям, как превосходство — неполноценность. Как быть с глубокими старика-

ми? Они все еще едят; они все еще пользуются благами цивилизации, однако отдача от них очень мала.

Некоторые народы убивали стариков, которые не могли больше выполнять свою долю работы (например, эскимосы). Однако до недавнего времени это обычно мало практиковалось, поскольку очень немногие члены общества доживали до глубокой старости. В действительности очень немногие старики представляют ценность как хранители традиций и обычаев.

В наше время все изменилось. С увеличением срока жизни до семидесяти лет «пожилых людей» гораздо больше, чем прежде, и в абсолютных цифрах, и в процентном отношении. Следует ли всех, кто достиг, скажем, шестидесяти пяти лет, безболезненно отправлять на тот свет? Если это применять ко всем без исключения, то отпадет и субъективный отбор и проблема превосходства—неполноценности.

Однако принесет ли это какую-либо пользу? Мужчины и женщины, убиваемые по такому признаку, давно миновали детородный возраст и уже нанесли весь урон, какой могли нанести. Подобная эвтаназия омолодит население, но не остановит его рост.

в. Младенцы

Тогда почему бы не обратиться к другому концу возрастной шкалы? Почему бы не убивать младенцев? В примитивных и порой не в очень примитивных обществах убийство новорожденных было весьма обычным способом контроля за численностью населения. Обычно убивали девочек, что, безусловно, диктовалось необходимостью.

Спешу отметить, что мое последнее утверждение ни в коем случае не продиктовано враждебно-

стью к женскому полу, ведь именно женщина тормозит рост населения. Сравните женщину, продуцирующую тринадцать яиц в год и плодовитую в течение ограниченного периода ежемесячно, с мужчиной, производящим миллионы сперматозоидов каждый день и почти всю свою жизнь. Сотня тысяч женщин произведет на свет определенное количество детей в год, не важно, сколько мужчин на них приходится — десять тысяч или миллион.

На самом деле есть ряд пунктов в пользу детоубийства. Во-первых, этот способ результативен. Выполняемый с методичной жестокостью, он может за столетие положить конец человеческой расе. Еще один довод: новорожденное дитя не знает происходящего и не испытывает страданий. У него также еще не сформировалась личность и не успели сформироваться эмоциональные связи с окружающими.

И все же детоубийство неприятно. Младенцы беспомощны и трогательны, и общество, допускающее их убийство, пожалуй, слишком жестоко и бесчеловечно, чтобы служить всему человечеству. Кроме того, мы не можем убивать всех детей, а только некоторых, и сразу встает вопрос выбора. Каких детей? Спартанцы убивали тех, кто не отвечал их критериям физического здоровья, и опять во всей своей сложности встает вопрос превосходства — неполноценности.

г. Эмбрионы

А что насчет детоубийства до рождения — короче говоря, аборт? Зародыши не живут независимо, и угрызения общественной совести можно успокоить тем, что они не истинно живые. Их не убивают, их просто «абортируют», не давая обрести полную жизнь.

Из всех форм повышения уровня смертности аборт кажется наименее бесчеловечным, наименее омерзительным. В наше время по всему миру и в США существуют движения за легализацию абортов.

И все же, если кто-то заявит, что убийство ребенка не так страшно, как убийство взрослого, а убийство эмбриона не так омерзительно, как убийство новорожденного, почему бы не сделать еще один шаг и не убивать эмбрион в самый ранний момент? Почему не убивать его до того, как он стал эмбрионом, до момента зачатия?

Мне кажется, что любой человек, рассматривая все разнообразные способы увеличения уровня смертности, должен прийти к тому, что лучший из них — предотвращение зачатия, то есть снижение уровня рождаемости.

Рассматривая различные пути сокращения рождаемости, мы увидим, что они распадаются на две обширные группы: добровольное и принудительное.

В. СОКРАЩЕНИЕ РОЖДАЕМОСТИ

1. Д о б р о в о л ь н о е

В идеале эта ситуация наиболее приемлема для человека. Если требуется остановить увеличение населения, давайте все согласимся добровольно ограничить число детей.

Все могли бы просто согласиться иметь не более двух детей. Один, два, затем СТОП!

Если бы это произошло, то население перестало бы увеличиваться¹ и начало сокращаться. В конце

¹ При условии, что вероятная продолжительность жизни резко не увеличится, иначе будет постоянно увеличиваться количество стариков. Возможно, не стоит стараться увеличивать продолжительность жизни выше нынешнего уровня. Я стесняюсь признаваться в этом, но действительно не вижу другого выхода.

концов не все пары имели бы двоих детей. Некоторые, по собственному выбору или стечению обстоятельств, имели бы одного ребенка, а некоторые вообще не имели бы детей. Более того, из родившихся детей некоторые умерли бы, не достигнув детородного возраста и не родив собственных детей.

При системе семьи с двумя детьми общая численность населения существенно уменьшалась бы с каждым поколением. По-моему, это совсем не плохо, ибо я чувствую, что Земля уже серьезно перенаселена. Я готов доказать, что в идеале население Земли должно составлять один миллиард человек, и этой цифры удалось бы добиться сокращением численности нескольких последующих поколений. Мне кажется, что в нормальном обществе без войны или угрозы войны один миллиард человек смог бы прекрасно обеспечивать условия своего существования.

Если бы вдруг возникла угроза сокращения населения до меньшей цифры, проще всего было бы увеличить разрешенное количество детей до трех на семью. Достаточное количество пар несомненно воспользуется разрешением на третьего ребенка, и население быстро восстановится.

Я прогнозирую, что при гуманном правлении перепись всего мирового населения каждые десять лет позволила бы принять решение, требуется ли третий ребенок в семье на следующие десять лет или нет.

Если бы такая система была принята, то она прекрасно работала бы, но возможно ли это? Согласятся ли индивидуумы добровольно ограничить рождаемость? Мне хватает цинизма, чтобы ответить на этот вопрос отрицательно.

Прежде всего, если двое — желаемое количество детей на семейную пару, то гораздо легче родить больше детей, а не меньше. Отдельная пара может

без биологических трудностей иметь дюжину детей, на десять больше положенного. Однако ни одна пара, какой бы сознательной они ни была, не может иметь меньше нуля детей, то есть на двоих меньше положенного.

Это означает, что на каждую несознательную пару с дюжиной детей пять пар должны лишиться себя возможности иметь детей, чтобы поддержать равновесие.

Более того, я подозреваю, что стоит отделить семьи, абсолютно добровольно избравшие многодетность, от социально ответственных — по любой причине. Каждое поколение будет вносить свой вклад в следующее поколение очень несбалансированно.

В реальности весьма вероятно, что это быстро вызовет полное крушение добровольной системы, ибо социально ответственные почувствуют возмущение и страх. Социально ответственные легко убедят себя в том, что много рожают только невежественные, неполноценные, недостойные, и могут почувствовать, как важно дать миру собственного, гораздо более желанного отпрыска.

Весьма вероятно даже, что, пока регулирование рождаемости дело сугубо добровольное, от него могут отказаться из чисто региональных соображений.

Например, в Канаде уровень рождаемости среди франкоговорящего населения выше, чем среди англоговорящего. Я уверен, что среди и тех и других кто-то подсчитывает с надеждой или страхом, что франкоканадцы в конце концов займут господствующее положение, благодаря естественному приросту.

И франкоканадцы, и англоканадцы, возможно, не пожелают добровольно регулировать рождаемость; первые — чтобы не потерять шанс на гос-

подство, вторые — чтобы не приблизить вероятное доминирование бурно плодящихся первых. Похожая ситуация может сложиться и в США, где чернокожее население размножается быстрее белых; или в Израиле, где арабы рожают больше, чем евреи, и почти в любой стране с неоднородным населением.

Такая проблема может возникнуть не только внутри одной страны. Греки не захотели бы слишком отстать от болгар, бельгийцы — от голландцев, индийцы — от китайцев и так далее, и так далее.

Каждая нация, каждая группа внутри нации следила бы за соседями и старалась бы сохранить верховенство или (что то же самое) предотвратить верховенство соседа. И во имя патриотизма, национализма, расизма добровольное регулирование рождаемости провалилось бы и человечество было бы обречено.

2. П р и н у д и т е л ь н о е

Не следует ли нам просто попросить пары не рожать более двух детей; не следует ли *приказать* им?

Предположим, к примеру, что все дети тщательно зарегистрированы и каждый раз, как женщина рождает второго ребенка при еще живом первом, ее перед выходом из больницы стерилизуют.

Почему женщин, спросите вы? Почему не мужчин, для которых операция проще?

Я выбираю женщин не из мужского шовинизма, но только потому, как я сказал ранее, что женщины — корень проблемы. Стерилизацией нескольких мужчин мы ничего не добьемся, если остальные просто начнут трудиться интенсивнее, а стерилизация женщин *должна* понизить уровень рождаемости. В конце концов именно женщина, а не мужчина лежит на операционном столе во время родов.

Но даст ли результаты такой принудительный контроль рождаемости? Или недовольство так возрастет, что мир будет постоянно содрогаться от мятежей, а женщины начнут рожать тайно, и правительству придется постоянно принимать все более крайние меры.

Иногда мне кажется, что такая система разрушится, если будут допускаться исключения.

Полагаю, что появится сильное желание разработать ряд правил, по которым некоторым разрешат иметь трех или даже четырех детей, а другим — только одного или вовсе ни одного. Вы можете возразить, что выпускникам колледжей следует иметь больше детей, чем слабоумным; добившимся успехов в какой-то области — больше, чем праздным мечтателям, спортсменам — больше, чем диабетикам, и так можно перечислять бесконечно.

К несчастью, я не думаю, что любая система дифференциации, пусть даже применяемая объективно и разумно, сможет привести к успеху.

В любом случае неизбежны протесты, мол, группе X отдается предпочтение перед группой Y. И уж группа Y точно так же заявит и соберет информацию, доказывающую, что группа X контролирует Совет Населения Мира. Используя ту же самую статистику и информацию, группа X будет настаивать на том, что предпочтение отдается группе Y.

Единственное возможное решение, пусть самое неэкономичное, — ни по каким причинам не допускать никаких исключений. Пусть «пригодные» имеют не больше детей, чем «непригодные» (и не меньше), как бы там ваши эмоции и предрассудки ни определяли «пригодность» и «непригодность».

И после того, как население уменьшится до оптимального уровня и Земля проживет несколько поколений с гуманным мировым правительством, можно будет учесть предложения по постепенно-

му изменению уровня рождаемости и улучшению качества человечества без увеличения его количества.

Все же я должен признать, что мне, как, вероятно, и большинству людей, претит использование скальпеля как неумолимого орудия государственной хирургии. Если бы можно было сделать добровольность такой же эффективной, как принудительная стерилизация, я, конечно, предпочел бы его.

Можем ли мы оставить людям выбор; можем ли позволить им иметь дополнительного ребенка, если они захотят, но оставить за государством право запрета по различным причинам? Можно ли найти средства такие же надежные, как скальпель хирурга, и все же не нанести ущерб человеческому телу и, следовательно, человеческому достоинству?

3. Добровольное поощрение

Вернемся к добровольному ограничению рождаемости, но сделаем его не совсем добровольным. Давайте установим некие суровые взыскания за отказ сотрудничать.

Для начала изменим налоговую политику. Ныне рождаемость поощряется сокращением подоходного налога. Предположим, что вместо этого устанавливаются штрафы. Ваши налоги слегка увеличиваются при одном ребенке, снова слегка увеличиваются при двух и затем непомерно возрастают при трех.

Другими словами, пары подкупают, чтобы они не имели детей.

Есть и другие формы взяток. Когда рождается третий ребенок, мужу могут сократить зарплату или уволить с работы и придется жить на пособие. Семья с тремя детьми может потерять привилегии при медицинском страховании, получить запрет

на пользование самолетами, подвергнуться бойкоту со стороны других семей.

Все это очень жестоко, но в сегодняшнем мире третий ребенок — преступление перед обществом.

Лучше ли, чем скальпель, подобное давление? Снимет ли это угрозы тайных родов? Целых тайных колоний запрещенных детей? Будут ли с третьими детьми дурно обращаться или даже убивать их? Не окажется ли закон снисходительнее к богатым?

Я не знаю, но ничего лучше придумать не могу. Мне кажется, что проблема перенаселения давно назрела и ее необходимо срочно решать. Начнем немедленно тем или иным образом убеждать людей не иметь детей, начнем настраивать общественное мнение против многодетных семей. Или это, или гибель цивилизации, а вместе с нею миллиардов людей¹.

Только одно...

Предположим, что мы приняли эту концепцию и человечество в целом и искренне ее одобрило. Люди повсюду честно намерены не иметь более двух детей. Каждая пара с двумя детьми должна сейчас продумать (помните, без принудительной стерилизации), как не родить третьего ребенка.

И как же? Какие пути им открыты? Ибо помните, что, если разумного способа нет, мы возвращаемся к принудительной стерилизации... или к гибели.

Глава 17

...НО КАК?

Иногда я сожалею, что не додумался записать нечто умное, мною сказанное, и заверить у нотариуса, как доказательство для потомков.

¹ Если вас распирает от любопытства, могу сказать, что у меня двое детей и больше не будет.

Например, еще в 1952 году я мрачно¹ слушал новости в день выборов Эйзенхаура, когда в темноте вдруг забрезжил солнечный луч.

Молодой демократ прошел в сенат крохотным большинством голосов, хотя на президентском уровне тенденция была противоположной. Показывали, как он благодарит своих помощников и при этом излучает такое неотразимое обаяние, что я сказал своей жене: «Не будь он католиком, стал бы следующим президентом США после Эйзенхауэра».

Вы уже поняли, этим молодым человеком был Джон Ф. Кеннеди, а я в точности все предвидел. К несчастью, я не записал свое замечание, а моя жена — единственный свидетель — его не помнит.

С другой стороны, примерно в то же время, в начале пятидесятых, в ходе дискуссии на общественном собрании я сказал:

— Это последнее поколение, в котором остается бесспорным неограниченное право на размножение. После него мы будем вынуждены контролировать рождаемость.

— А что скажет римская католическая церковь? — спросил кто-то.

— Римской католической церкви придется смириться, альтернативы нет, — сказал я.

Меня заставили замолчать единодушными неодобрительными выкриками; все были уверены, что во мне заговорил научный фантаст. Однако за прошедшие двадцать лет я не изменил свою точку зрения.

Итак, нам придется ограничить рождаемость по причинам, кои я объяснил в предыдущей главе.

Но как?

Практикуется много методов регулирования рождаемости. Например, воздержание и целомуд-

¹ Не буду скрывать от вас: я — демократ.

рие. (Не смейтесь! С некоторыми людьми это срабатывает, а мы не в том положении, чтобы отвергать любую предлагаемую помощь, даже минимальную.) Существует способ контрацепции, основанный на использовании бесплодных периодов менструального цикла, выбора или попытки выбора дней месяца, когда у женщины нет овуляции. Существуют методы прерывания полового акта, хирургической и окончательной стерилизации, или химической и временной стерилизации, или механической преграды и так далее.

В регулировании рождаемости все средства применимы; все имеют свои недостатки; ни один метод не даст стопроцентного результата, даже будучи принятым добровольно; может быть, даже все вместе не решат проблемы.

Тем не менее мы должны попытаться, и, если кто-нибудь полагает, что нужно испробовать какой-то новый метод, его долг — перед лицом кризиса, надвигающегося на человечество, — этот метод пропагандировать. Что я и собираюсь сделать.

На мой взгляд, реальный враг — общественное давление — самая мощная человеческая сила в мире. Любовь не знает преград и может пережить самые жесткие официальные запреты, но нет для любви наказания страшнее, чем бессердечный общественный бойкот.

Общественное давление непреодолимо. Мятежники, твердо противостоящие истеблишменту и отвергающие все устаревшие условности, быстро развивают свою субкультуру, которую не смеют осквернить.

И именно общественное давление, непреодолимое общественное давление диктует людям заводить детей — много детей, чем больше детей, тем лучше.

Для этого есть причина. Несмотря на распространённое мнение, общественные условности существуют вовсе не для того, чтобы раздражать и смущать, или из извращённого восхищения глупостью. Они имеют смысл в контексте тех времен, когда они формировались.

До XIX века на земле практически не было места, а в истории не было эпохи, когда бы вероятная продолжительность жизни превышала тридцать пять лет. Во многих же случаях она была значительно меньше. Практически не существовало ни региона, ни эпохи, когда бы детская смертность не была ужасающе высокой. Удивляла не смерть детей, а их выживание.

В века высокой детской смертности и малой продолжительности жизни для каждой семьи само собой разумелось иметь как можно больше детей. И не потому, что каждая семья задумывалась о будущем человечества. Вовсе нет. А потому, что в племенном обществе семья является общественной и культурной единицей и для бесперебойного скотоводства и земледелия, для защиты от других племен необходимо как можно больше молодежи. А потому женщины должны были рожать и рожать.

При колоссальной смертности от голода, болезней и войн проблема перенаселённости не вставала. Если вдруг неожиданно численность племени существенно уменьшалась, оно всегда могло напасть на соседнее племя. Большой опасностью казалось сокращение и вымирание племени.

Постепенно и вполне обоснованно общественное мнение сформировалось в пользу того, чтобы иметь больше детей.

Чтобы понять очевидность этого, нам нет нужды вдаваться в антропологические подробности: нам все объясняет Библия — наиважнейший ис-

точник общественного давления в западной цивилизации. (И это ключевой момент, ибо именно западная культура контролирует землю с помощью военной силы и именно западная культура сыграет ведущую роль в демографической политике).

Первое увековеченное обращение Бога к созданному им человечеству гласит: «И благословил их Бог, и сказал им Бог: плодитесь и размножайтесь, и наполняйте землю...» (Быт., 1: 28).

И неоднократно затем в Библии подчеркивается, что бесплодие считается большим несчастьем. Бог обещает Аврааму позаботиться о нем: «...Не бойся, Аврам; Я твой щит; награда твоя весьма велика» (Быт., 15: 1). Но Авраам не находит в этом утешения и говорит: «...Владыка Господи! Что Ты дашь мне? Я остаюсь бездетным...» (Быт., 15: 2).

Фактически бездетность считалась божественным наказанием. Так, Иаков женился на двух сестрах — Лии и Рахиль. Он хотел взять только Рахиль, но его хитростью заставили взять Лию. В результате он выказывал заметное предпочтение Рахиль, что Господь явно не одобрил: «Господь узрел, что Лия была не любима и отверз утробу ее, а Рахиль была неплодна» (Быт., 29: 31).

Естественно, Рахиль огорчалась. «И увидела Рахиль, что она не рождает детей Иакову, и позавидовала Рахиль сестре своей, и сказала Иакову: дай мне детей; а если не так, я умираю» (Быт., 30: 1).

Еще Библия рассказывает об Анне, которая, несмотря на постоянные молитвы, оставалась бесплодной и потому несчастной, хотя преданно любящий ее муж не обращал внимания на ее бесплодие (что делало ее бесполезной с точки зрения продолжения рода и давало серьезный повод для подозрений в греховности) и выражал свою любовь очень трогательно: «И сказал ей Елкана, муж ее: Анна!

Что ты плачешь, и почему не ешь, и отчего скорбит сердце твое? Не лучше ли я для тебя десяти сыновей?» (1 Цар., 1: 8).

Однако Анна продолжала молиться и наконец зачала и родила Самуила. Во второй главе книги приводится ее триумфальная песня.

Особенно ясное указание на то, что бесплодие является наказанием за грехи, дается в связи с историей Давида. Давид принес ковчег завета в Иерусалим и на торжествах участвовал в ритуальном массовом танце, в котором (в Библии об этом говорится весьма туманно) было возможно совокупление ради зачатия. Жена Давида Мелхола ядовито заметила: «...как отличился сегодня царь Израилев, обнажившись сегодня пред глазами рабынь рабов своих, как обнажается какой-нибудь пустой человек!» (2 Цар., 6: 20).

Критика Давиду не понравилась, как, очевидно, и Богу, ибо «и у Мелхолы, дочери Сауловой, не было детей до дня смерти ее» (2 Цар., 6: 23).

Племенной импульс к деторождению был так силен, что бесплодная жена могла заставить мужа сделать беременной свою служанку, чтобы через нее стать матерью. Так жена Авраама Сара, оказавшись бесплодной, сказала мужу: «...Вот, Господь заключил чрево мое, чтобы мне не рождать; войди же к служанке моей: может быть, я буду иметь детей от нее...» (Быт., 16: 2).

Аналогично жена Иакова Рахиль одолжила мужу свою служанку Валлу, а другая его жена Лия, чтобы не отставать, отдала мужу свою служанку Зелфу. Эти четыре женщины стали матерями различных предков двенадцати колен Израилевых.

Бывало и наоборот. Если муж умирал, не оставив детей, оплодотворить жену должен был ближайший родственник (желательно брат), чтобы

она родила сыновей, считавшихся сыновьями усопшего.

Так, Иаков, четвертый сын Иуды, заимел первенца своего Ира, которого женил на девушке по имени Фамарь. К несчастью, Ир умер, и Иуда сказал следующему своему сыну Онану: «...войди к жене брата твоего, женись на ней, как деверь, и восстанови семя брату твоему» (Быт., 38: 8).

Однако Онан не захотел. «Онан знал, что семя будет не ему; и потому, когда входил к жене брата своего, изливал на землю, чтобы не дать семени брату своему. Зло было пред очами Господа то, что он делал; и Он умертвил и его» (Быт., 38: 9—10).

Получается, что грех Онана не мастурбация (что означает слово «онанизм»), а то, что мы называем *coitus interruptus* (прерванный коитус).

Племя требует рождения детей потому, что племенное общество долго не проживет без превращения женщин в детородильные машины, и это отражено в библейских рассказах.

Конечно, существуют религиозные секты, восхваляющие регулирование рождаемости — через целомудрие и девственность, — но почти неизменно потому, что ждут неминуемой гибели Земли¹. К ним относятся и ранние христиане, и до сего дня целомудрие является христианской добродетелью, а девственность считается похвальной. Однако и при этом в нашем традиционном обществе считается само собой разумеющимся, что величайшее предназначение женщины на земле — быть женой и матерью; что материнство из всех земных качеств — самое священное; что иметь много детей —

¹ И это одна из причин, почему современные эксперты тоже выступают за регулирование рождаемости; потому что в противном случае они ожидают неминуемой гибели Земли.

истинное счастье, а малое количество детей или их отсутствие по собственной воле — проявление эгоизма.

Подобное давление приводит к мужским мифам, ибо наличие множества детей принимается как доказательство их половой потенции. Даже в наши дни отец тройни или большего количества новорожденных позирует перед камерой с самодовольством и напускной скромностью, ибо полагает, что выражение «ах, это было нетрудно» соответствует образу полового гиганта. (На самом деле половые возможности мужчины не имеют никакого отношения к многоплодной беременности.)

Все эти представления унаследованы у давно усопших предков, несмотря на то что нынешняя ситуация совсем не та, что была во времена родового общества. Она полностью и катастрофически противоположная. Наша Земля не пуста, а перенаселена. У нас повысился средний уровень жизни, а уровень детской смертности весьма низок. Теперь мы удваиваем население Земли не за несколько тысячелетий, а за несколько десятилетий.

И даже сегодня говоря о регулировании рождаемости, мы все еще преодолеваем древние верования племенного общества. Очевидно, что с общественным мнением следует бороться не только как с таковым, и в качестве примера я иногда предлагаю (с усмешкой, иначе меня линчевали бы на месте) начать с отмены Дня матери и замены его Днем бездетности, и в этот день чествовать всех взрослых бездетных женщин.

Общественное мнение — это больше чем просто вопрос: иметь или не иметь детей. Общественное мнение, тысячелетиями настаивавшее на детях, детально разрабатывало, как этим детям родиться

наверняка. Общество прицельно и конкретно отвергало простейшие методы регулирования рождаемости, методы, не требующие ни оборудования, ни химических препаратов, ни расчетов, ни особого самоконтроля, методы, которые, будучи примененными *при племенных условиях древности*, угрожали бы племени уничтожением.

Это общественное давление было столь успешным, что такие методы регулирования рождаемости явно остались за пределами человеческого знания. По крайней мере, слушая сторонников регулирования рождаемости или читая, что они пишут, я никогда не слышу и не вижу никакого упоминания об этих естественных методах. Даже они блаженно о них не ведают или боятся о них говорить.

Видите ли, на самом деле существует множество сексуальных практик, приносящих удовлетворение, не наносящих никакого физиологического вреда и в то же время абсолютно не допускающих зачатия.

И все они прокляты нашим обществом по причинам, коренящимся в первобытной необходимости в детях.

Например, простейшая из возможных не допускающих зачатия сексуальных практик — мастурбация (мужская и женская). Она снимает напряжение и не наносит никакого физиологического ущерба.

И все же сколько лет в нашем обществе мастурбация считается отвратительным пороком (несмотря на то что, по-моему, она применяется почти повсеместно). Мнение о мастурбации даже не просто как о пороке, а как о грехе настолько сильно, что в попытке найти тому библейское проклятие деяние Онана провозглашено мастурбацией, коей оно никак не являлось.

Очевидно, что истинное преступление мастурбации в том, что напрасно тратится семя, которое, по племенным представлениям, следует использовать исключительно для зачатия. Однако это враждебно духу нашего общества, и потому изобретается ложь. Мастурбация (грозят вам) «ослабляет» вас; под этим подразумевается невозможность полноценных сношений с женщинами — страшная угроза для большинства мужчин. Хуже того, вам внушают, что мастурбация приводит к вырождению (что бы это ни значило) и даже безумию.

На самом деле ничего подобного. Мастурбация даже не подразумевает «греха онанизма», поскольку может практиковаться в компании и не обязательно в «диких оргиях», но и в обычных гетеросексуальных отношениях.

Все громы и молнии, обрушенные на мастурбацию, так и не смогли ее искоренить. Она остается повсеместной практикой. Однако всем лживым утверждениям удалось загнать этот акт в подполье, в стыд и в страх и воспитать поколения невротиков с искаженными и совершенно ненужными сексуальными навязчивыми идеями. И ради чего? Чтобы отдать дань обычаям, необходимым примитивным племенам, но *фатальным* для нас самих.

Неотъемлемой составной частью борьбы с мастурбацией является борьба с порнографией. В истории наблюдались периоды, когда презрение и отвращение загоняли порнографию в подполье. Но это не искоренило «грязные книги», «грязные картинки» и «грязные шутки», а лишь усилило вызываемое ими возбуждение. Преследование порнографии привело к представлению о сексе как о чем-то грязном и таким образом крайне исказило отношение миллионов к деятельности как необходимой, так и доставляющей удовольствие.

И какие причины приводят обычно борцы с порнографией? Чаще всего утверждают, что она воспаляет разум и заставляет людей, сталкивающихся с подобной «грязью», рыскать по улицам, словно дикие животные, чтобы насиловать и предаваться извращениям.

Такие представления смехотворны. По-моему, порнография, учитывая, что она возбуждает в вас «порочные импульсы», приводит к тому, что вы мастурбируете при первой же возможности и ослабляете напряжение, а не наоборот.

Желание изнасиловать скорее возникнет при усилении напряжения, возникающем при навязывании представления о сексе как грязном и запрещенном.

Нет, истинное зло порнографии для племенного общества в том, что она поощряет мастурбацию и уменьшает шансы на зачатие.

Существует целый ряд практик, клейменых обществом и, следовательно, законом как извращенные, противоестественные, омерзительные, как «преступления против природы» и так далее. Они вовсе не противоестественны, ибо в таком случае их легко было бы подавить. На самом деле их и не пришлось бы подавлять, поскольку они просто не возникли бы. Например, противоестественно летать, размахивая руками, поэтому против этого нет законов. Противоестественно жить, не дыша, поэтому никому не приходится против этого выступать.

Правда о так называемых извращениях состоит в том, что они *очень* естественны. В действительности они столь естественны, что никакие юридические препятствия и никакие адские муки религии не смогут их искоренить.

И какой вред они наносят? Являются ли они болезнями?

Например, я часто слышу разговоры о гомосексуализме как о болезни, а ведь существовали общества, в которых он воспринимался как более-менее само собой разумеющееся. Гомосексуальность господствовала и даже одобрялась в золотой век Афин, в золотой век ислама и (как я понимаю), несмотря ни на что, в Викторианскую эпоху.

Может быть, гомосексуальность и болезнь, но она не кажется несовместимой с культурой. А если это болезнь, то какая ее часть есть результат тайного мира, в котором ее вынуждают жить в страхе и стыде, неизменных ее спутниках?

В чем в реальности состоит преступление всех этих так называемых извращений? Может быть, в том, что все они — эффективные способы регулирования рождаемости. Гомосексуализм, мужской или женский, не может привести к беременности. Орально-генитальные контакты не могут привести к зачатию.

Так что же в этом плохого во времена, когда *необходимо* снизить уровень рождаемости?

Я не отрицаю существования практик, *действительно* наносящих вред, и с ними следует бороться. Не следует поощрять садомазохизм, вышедший за пределы легкой стимуляции, по той же самой причине, по какой мы против увечий и убийства. Не следует поощрять половые контакты в негигиенических условиях потому, что мы против любой антисанитарии.

И я ни в коем случае не призываю *принуждать* людей к извращениям.

Я, например, не гомосексуалист и не собираюсь таковым становиться только ради того, чтобы не иметь детей. И я не призываю никого к гомосексуализму только ради этой цели.

Я просто говорю, что в мире, которому угрожает перенаселение, бесполезно и даже самоубийствен-

но бороться против тех, кто по собственному желанию предпочитает гомосексуализм, кто не наносит нам этим никакого вреда и на деле избавляет нас от детей. Более того, существуют пограничные случаи, когда люди, предоставленные самим себе, стали бы гомосексуалистами. Должны ли мы вынуждать их жестким общественным давлением жить в гетеросексуальных браках без любви и приносить в мир нежеланных детей?

Как мы оправдываем это в находящемся в опасности мире конца XX столетия?

Общественное давление — и закон — вторгается в спальни даже официально женатых индивидуумов и диктует их интимную сексуальную жизнь. Я слышал, что почти во всех штатах США существует закон, что если муж с женой пожелают заняться анальным или оральным сексом и будут за этим пойманы, то подвергнутся тюремному заключению.

Почему? Какой вред причинили они самим себе или кому-либо еще? Это наказание без преступления.

«Вред», конечно, в том, что они практиковали абсолютно эффективный метод регулирования рождаемости, не требующий ни оборудования, ни подготовки, и, предположительно, получили удовольствие — то есть занимались чем-то несовместимым с потребностями давно вымершего племенного общества.

Говорят, что «извращения» «развращают», заменяют и вытесняют «нормальный способ».

Я никогда не видел доказательств этого мнения, но даже если оно верно, то что же? Что такое «нормальный способ» в таком мире, как наш, в мире, который должен страшиться слишком большого количества зачатий? И если кому-то не нравится «нормальный способ» и он не хочет иметь детей, так

кому какое дело? Если эта самая пара предпочтет не иметь детей с помощью воздержания, кого это касается? Какое до этого дело закону? Тогда что плохого в том, чтобы не иметь детей другим способом? Потому что удовольствие преступно?

В книге Дэвида Рубина «Все, что вы всегда хотели знать о сексе» один раздел посвящен орально-генитальным контактам, которые он, по-видимому, одобряет, но делает вывод, что «нормальное совокупление еще более приятно».

Вообще-то я полагаю, что каждый должен решать сам, но, даже если «нормальное совокупление» действительно более приятно, так что же? Если ростбиф нравится вам больше хлеба с маслом, разве это причина для того, чтобы поставить хлеб с маслом вне закона? А если вам не достать ростбиф и приходится выбирать между хлебом с маслом и смертью от голода, выберете ли вы голодную смерть?

Возможно, что самое лучшее — разнообразие, и то, что закон и традиция пытаются настоять на самой опасной для нас ныне монотонности, — величайшее извращение.

Давайте подведем итог.

Я думаю, что важность регулирования рождаемости такова, что нельзя не воспользоваться любым способом.

Все обычные методы имеют свои недостатки: воздержание почти невозможно; стерилизация обратительна; использование биологического ритма бесчувственно и лишает женщину секса как раз в то время месяца, когда она наиболее восприимчива; механические приспособления заставляют вас притормозить в тот самый момент, когда вы меньше всего хотите тормозить; химические препараты

имеют побочные эффекты. Я думаю, что возможен и другой метод, особенно не имеющий всех этих недостатков.

Я думаю, что общественное давление на способы, обычно называемые «извращениями», но физиологически безвредные, следует облегчить. Те самые качества, что сделали их извращениями в обществе, нацеленном на зачатие, делает их добродетелями в обществе с противоположной целью.

По-моему, в сексуальное образование следует включить не только информацию о том, что обычно считается «нормальным», но и о тех методах, что позволяют избежать зачатия. Не следует никого учить практиковать только эти методы, но знание о том, что они есть и не «аморальны», может сократить число так называемых нормальных половых сношений со всеми их осложнениями и недостатками искусственных способов регулирования рождаемости.

Что касается тех, кто не выносит «извращений» и настаивает на том, что подходило их бабушкам (хм-хм!), тогда желаю им удачи, но пусть поостерегутся.

Так или иначе, необходимо эффективно регулировать рождаемость, а я здесь предложил лишь еще один способ, который вместе со всеми уже применяемыми увеличивает эффективность системы в целом и дает еще один шанс на спасение мира.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	7
----------------	---

Часть первая ПРОБЛЕМА ЛЕВОГО И ПРАВОГО

<i>Глава 1.</i> Четные и нечетные	11
<i>Глава 2.</i> Левый винт электрона	24
<i>Глава 3.</i> В глазах двоится	39
<i>Глава 4.</i> Трехмерная молекула	54
<i>Глава 5.</i> Асимметрия жизни	69

Часть вторая ПРОБЛЕМА ОКЕАНОВ

<i>Глава 6.</i> Талассогены	85
<i>Глава 7.</i> Горячая вода	101
<i>Глава 8.</i> Холодная вода	116

Часть третья ПРОБЛЕМА ЧИСЕЛ И ЛИНИЙ

<i>Глава 9.</i> Простые числа	132
<i>Глава 10.</i> Пятый постулат Евклида	147
<i>Глава 11.</i> Истина плоскости	162

Часть четвертая ПРОБЛЕМА УТКОНОСА

<i>Глава 12.</i> Дырки в голове	178
---------------------------------------	-----

Часть пятая
ПРОБЛЕМА ИСТОРИИ

<i>Глава 13.</i> Феномен «Эврика»	194
<i>Глава 14.</i> Помпей и обстоятельства	208
<i>Глава 15.</i> Билл и я	224

Часть шестая
ПРОБЛЕМА НАСЕЛЕНИЯ

<i>Глава 16.</i> Стоп!	238
<i>Глава 17.</i> ...Но как?	252

Айзек Азимов

АСИММЕТРИЯ ЖИЗНИ

Знаменитый писатель-фантаст, ученый с мировым именем, великий популяризатор науки, автор около 500 научно-популярных, фантастических, детективных, исторических и юмористических изданий откроет вам мир своих интересов.

Эта книга — сборник научно-популярных статей известного писателя и ученого из области естественных и гуманитарных наук. Вы познакомитесь с изысканиями Айзека Азимова в сфере физики, химии, геометрии, истории, литературоведения. Автора интересуют и проблемы перенаселения Земли, и химический состав воды, и проблемы ограничения рождаемости, и ярые споры шекспироведов. Сборник вместил в себя все — необычные исторические совпадения, дискуссии с литературоведами, рассуждения о неевклидовой геометрии.

Книги А. Азимова — это оригинальное сочетание научной достоверности, яркой образности, мастерского изложения.

ISBN 978-5-9524-3202-4



9 785952 432024