

Е.И. ПАРНОВ



НА ПЕРЕКРЕСТКЕ БЕСКОНЕЧНОСТЕЙ

Е. И. ПАРНОВ

НА ПЕРЕКРЕСТКЕ БЕСКОНЕЧНОСТЕЙ



АТОМИЗДАТ
МОСКВА 1967

Ничто не волнует человека так глубоко и постоянно, как тайны времени и пространства. Понять скрытые механизмы природы и наше место во Вселенной — вот цель и смысл познания. Мы стоим как бы на перекрестке дорог, уходящих в бесконечность. Одна уводит в необозримые бездны галактических пространств, другая — к основам материи. На одной дороге время соизмеримо с возрастом Вселенной, на другой — оно измеряется исчезающе малыми промежутками. И нигде не соизмеримо оно с масштабом человеческой жизни.

Книга «На перекрестке бесконечностей» рассказывает о той битве идей, в которой создавалась современная физическая картина мира. Могут ли быть скорости больше световой? Конечна или бесконечна Вселенная? Обратимо ли время? И что лежит в основе той реальности, которую мы воспринимаем как пространство, время или вещество. Обо всем этом рассказывается в книге. Но не только об этом. Она рассказывает о путях познания, о том, как человек постигал тайны и бесконечно большого, и бесконечно малого, но единого в своей основе мира.

Рисунки В. КАЩЕНКО

ЛИЦОМ К ЛИЦУ СО ВСЕЛЕННОЙ

В письме «К одному читателю» Карел Чапек так охарактеризовал содержание своего романа «Метеор»:

«Это повесть о путях познания; кстати сказать — прошу простить меня, но почему люди думают, что познание — это что-то ужасно скучное? Итак, в этой повести я стремился показать, как один и тот же действительный факт удается конструировать различными путями, которыми может следовать наше познание мира, потому что даже самый малый фрагмент действительности — это нечто огромное: оно лежит на перекрестке разных дорог и может быть открываемо с диаметрально противоположных сторон... Нам, людям, дан кусок Вселенной, чтобы мы познавали ее, мы добираемся до ее глубин не единственным путем, мы зондируем ее своими поступками, наукой, поэзией, любовью и религией, нам нужны разные методы, чтобы измерить ими свой мир».

Только размеры этого отрывка не позволили сделать его эпиграфом к книге, которую вы держите сейчас в руках. Когда перед ее автором еще лежал чистый лист, он видел только одно: Человека и Землю. Человек выглядывал из темных пещер и долго смотрел на небо, пока далекие звезды не рождали в его глазах ответный отблеск. Смутная тревога в груди и песня у костра; чем еще мог измерить тот человек открывшуюся перед ним бездну? Шли века и тысячелетия. Понятия Земля и Небо выросли до масштабов Вселенной. И пусть мысль порой блуждала в темных лабиринтах, замирала на целые столетия, билась в тупиках заблуждений и противоречий, Человек всегда выходил победителем в единоборстве с вечной и неисчерпаемой природой.

И в эту минуту он тоже стоит на земле, пытаясь мыслью своей постичь границы Вселенной и добраться до основ материи. Он стоит на перекрестке бесконечностей. Одна дорога уводит его в мир галактик, туда, где разлетающееся вещество достигает почти световых скоростей, другая — в микромир с исчезающе малыми масштаба-

ми расстояний и длительностей, с двуликими и странными проявлениями вероятностных законов.

Окинем же взглядом туманные бездны, которые так упрямо пытается измерить Человек. Известная нам часть Вселенной простирается примерно на 10^{10} световых лет, или 10^{28} см. Человек в 10^{26} раз меньше Вселенной. Масштабы нашей планеты не позволяют нам даже приблизительно ощутить и необъятность, и грозный смысл этой разницы. Но человек велик уже потому, что сумел увидеть ее. Обратимся к другой дороге в бесконечность, ведущей в мир элементарных частиц. Самое малое из известных нам расстояний 10^{-14} см. Оно отличается от самого большого в 10^{42} раз. Вот границы познания на сегодняшний день, измеренные отрезки дорог. 10^{42} — это так много, что никто не может вразумительно объяснить, как велико такое число. Возьмем пример из книги Кеннета Форда «Мир элементарных частиц», где сделана попытка оценить в привычных нам образах число 10^{42} .

Допустим, что до этой величины возросло число людей. Земной шар может вместить лишь 10^{15} человек. Да и то, если они станут вплотную, локоть к локтю. Во всей Вселенной насчитывается примерно 10^{21} звезд. Если предположить, что у каждой звезды 10 планет, то мы получим число планет, близкое к 10^{22} . Теперь, если на каждой из этих планет поставить людей плечом к плечу, то мы сумеем разместить 10^{37} человек. Это куда меньше 10^{42} . Нет, не измерить в привычных масштабах число 10^{42} !

Теперь о времени. Человек живет в среднем лет 70. Возраст цивилизации измеряется тысячами лет. Много или мало удалось нам сделать в таких временных масштабах, решать другим цивилизациям.

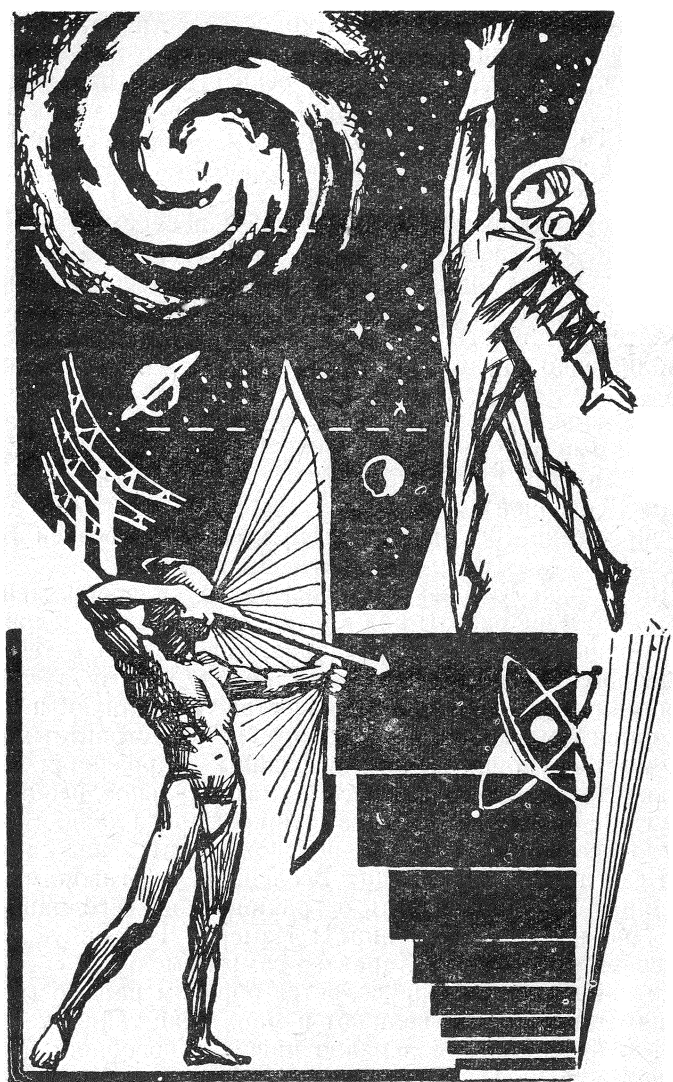
Возьмем самое малое из известных нам расстояний 10^{-14} см. Этот путь свет успевает пройти за 10^{-24} сек. Значит, это и есть кратчайший временной промежуток, хотя он и лежит далеко за пределами доступных нам методов измерения времени. Самый большой из ныне известных нам промежутков времени — «время жизни Вселенной». Под этим подразумевается продолжительность расширения Вселенной, составляющая $10—30$ млрд. лет, или примерно 10^{18} сек. Сравнение этих интервалов дает то же умопомрачительное число 10^{42} сек. Вот временные масштабы, в которых мыслит Человек, живущий 10^8 сек. Кстати сказать, совпадение интерва-

лов времени и расстояний отнюдь не случайно. Самые далекие участки Вселенной удаляются от нас со скоростью, близкой к световой. С такой же скоростью движутся и частицы в микромире. Скорость света объединяет обе бесконечности: бесконечность большого и бесконечность малого. А мы стоим на перекрестке. И привычный повседневный мир, окружающий нас, не знает таких скоростей. Только мысль позволяет нам соперничать с мирами, мерилom скорости которых является свет.

Таковы масштабы пространства и времени. Осталось вещество. Оно меняется со временем и перемещается в пространстве, оно составляет нашу сущность: в мыслящем Человеке Природа осознает себя. Вещество многолико, проявления его неисчерпаемы. Но есть одно, что характерно для всего вещества, — масса. Попробуем приближенно оценить массу Вселенной. Во Вселенной 10^{23} звезд. Звезда в среднем весит 10^{35} г. Масса Вселенной, значит, составляет что-то около 10^{58} г. В каждой граммe вещества примерно 10^{24} протонов. Грубый подсчет в этом случае показывает, что в известной нам части Вселенной 10^{82} протонов. Человек весит 10^5 г. В нем примерно 10^{29} протонов. Но мозг его способен осмыслить число 10^{82} и «взвесить» Вселенную.

Вот какой Человек вырисовывался в воображении автора по мере работы над книгой. Всемогуший Человек, очертивший границы мироздания, совершенно оттеснил пещерного звездочета. И автор понял, почему загадки пространства — времени — вещества так волнуют и влекут наши умы. Не ради холодного света абстрактных истин мы так упорно штурмуем тайны мироздания. Не только технический прогресс и материальное изобилие зовут нас в глубины космоса и микромира. Главная и не всегда осознанная причина поисков лежит в нас самих.

Ведь, говоря о границах Вселенной, мы говорим и о границах познания. Пусть о границах на сегодняшний день, но все-таки о границах! Измеряя Вселенную, мы измеряем и наш мозг. Характер самых смелых и «безумных» наших теорий определяется образом нашего мышления. Вот почему и волнуют и манят нас тайны космоса и микромира. Это зеркало наших способностей познавать. А человек рожден для познания. В этом и смысл, и цель жизни нашей цивилизации. Вот почему мы никогда не перестанем глядеться в зеркало мироздания.



1

ЧАСТЬ

ВЗГЛЯД НАЗАД

Далекие истоки

Что знаем мы о философских воззрениях древних? Десятки тысяч уникальных манускриптов Александрийской библиотеки погибли в огне. Такая же участь постигла 200 тысяч томов Пергамской библиотеки, библиотеку Иерусалимского храма, многие тысячи книг. Утрачена знаменитая коллекция Пизитрата в Афинах, уничтожены пергаменты тайного убежища храма Пта в Мемфисе.

Лишь случайные обрывки, отдельные фрагменты, загадочные проблески забытых знаний — вот что осталось нам от исчезнувших цивилизаций. Во времена Конкисты епископ Ланда предал огню почти все кодексы народа майя, и теперь каждая новая находка археолога перечеркивает все умозаключения предшественников. Наше далекое прошлое — это цепь белых пятен, прерываемая изредка островками достоверных фактов.

Мы не можем объяснить пока, откуда в древнем Багдаде за сотни лет до нашей эры знали, как делать сухие электрические батареи, или почему в монетах, относящихся к 235 году до нового летоисчисления, содержится никель. Это факты, с которыми не приходится спорить. Последовательно соединенные батареи из выгребных ям древнего Багдада давным давно лежат под стеклом музея. Кстати сказать, их долгое время принимали за непонятные ритуальные предметы. Только случайно зашедший в музей инженер обнаружил истинную сущность этих столбиков из металлов и смолы. Но сколько еще загадок не получили истолкования! До сих пор ведутся яростные споры о гигантских каменных шарах, воспроизводящих на большой территории Центральной Америки карту звездного неба древности, о колонне из чистого железа в Индии или древнеиндийских памятниках, в которых якобы содержатся сведения о диаметре атома водорода. Не будем судить здесь, правда это или

вымысел. Ясно одно: наши знания о древних цивилизациях крайне скудны и отрывочны.

В древних памятниках трудно порой отличить естественнонаучные представления от мистики, философию от поэзии, космологию от мифологии. Древневавилонский эпос и древнееврейская книга Зогар, индийские Рамаяна и Махабхарата не просто путанно и темно отражали мир, они отражали его синкретически: они показывают нам метод познания, в котором научное мышление неотделимо от художественного. В старинных книгах можно найти рисунок Земли, которая покоится на трех китах, плавающих в океане, или на трех слонах, стоящих на черепахе. Но это не значит, что древние именно так представляли картину мира. Нам трудно судить об истинных их воззрениях, поскольку они зачастую представлены чисто символически. Нельзя прямо отождествлять миф с философией, но нельзя и совершенно отделить мифологию от первых наивных представлений человечества об окружающей действительности. Жизнеописания Рамы и Кришны, Мадрука и Озириса, Сатурна и Хроноса безусловно содержат символически преобразованные представления о пространстве, времени и тех главных элементах, которые должны лежать в основе всего сущего. Древние не знали физики в нашем понимании этого слова. Но они создали зародыши описательной науки, которую можно назвать «фантастической физикой».

Недаром писатели, посвятившие свое творчество естествознанию, так любят цитировать древние поэмы и мифы. Роберт Юнг, в частности, предпослал своей превосходной книге об атомной бомбе «Ярче тысяч солнц» эпиграф из древнеиндийской поэмы Бхагавад Гиты:

Мощью безмерной и грозной
Небо над миром блистало б,
Если бы тысяча солнц
Разом на нем засверкала.

Смешно, однако, в этом великолепном поэтическом отрывке усматривать отзвуки когда-то случившегося атомного взрыва. Но ведь именно так поступают некоторые современные исследователи, видя в отдельных библейских отрывках описания атомной катастрофы либо прилета неведомых космонавтов. Конечно, такие гипотезы

имеют право на существование. Весь вопрос в том, насколько они истинны.

Но прервем это несколько затянувшееся отступление и перейдем от мифов к представлениям древних о единой первооснове мироздания. Эти представления чрезвычайно ценны для нас. Ведь именно сейчас наука готовится дать ответ на вопрос, поставленный в незапамятные времена: из чего состоит все?

Медленно, тернистым путем горьких разочарований, ошибок, неожиданных взлетов и падений шел Человек к познанию. Это был упорный, не знающий отдыха путь к цели. В начале пути люди зачастую пытались проникнуть в неведомое с помощью молитв и заклинаний. И лишь потом стихийно накопленные знания превратились в ростки того могучего дерева, которое мы зовем современной наукой. Практический опыт дал им жизнь. Этот же опыт и стал их питающей средой.

Идея некой праматерии, лежащей в основе Вселенной, зародилась в странах Древнего Востока. Согласно учению древнеиндийской школы «вайшешика», все состоит из мельчайших материальных частиц. В Китае, как и в Египте, различные убеждения, выросшие из магии и суеверий, превратились в жесткую систему религиозных воззрений на окружающий мир. Все истины должны были отвечать требованиям этой системы. Так, согласно древнему китайскому учению, все произошло в результате столкновения двух принципов — «Ян» и «Инь», на единстве противоречий которых держится реальная действительность во всей полноте. «Ян» означал мужское, а «Инь» — женское начало. С принципом «Ян» ассоциировались небо, солнце, все активные, положительные качества, а с принципом «Инь» — земля, тьма, все пассивные, отрицательные качества.

Несколько особняком стоят цивилизации, развившиеся на Американском континенте. Астрономические знания майя поразительны и превосходят все, что накопили древние астрономы Востока. Что же касается представления о времени, то здесь цивилизация майя не имела себе равных. Для майя сам ход времени имел колоссальное значение. Он превратился в навязчивую идею, вокруг которой вращалась вся их повседневная жизнь. Фактически этот загадочный народ стал рабом своего календаря. Историю, философию или религию майя

нельзя понять вне связи с календарем. Даже архитектура их была тесно связана с астрономией. Майя верили, что движение звезд по небесному своду определяет человеческие судьбы. Поэтому жрецы майя постоянно следили за небом. Они установили взаимосвязь между временем года и постепенным перемещением звезд. Потом они определили длину тропического и звездного годов, а затем по величине каждого лунного цикла — продолжительность одного месяца. Из этих сведений и родился невероятно точный календарь майя, который не только полностью подчинил себе жизнь отдельных людей, но и заставил весь народ в определенный момент покинуть свою страну.

Древние философские системы, несмотря на то, что содержали элементы диалектики и опирались на довольно обширные знания, все же носили крайне наивный характер. Значительно глубже и последовательней осмысливали мир философы античной Греции. Вот почему древняя физика является почти целиком физикой греков. Индийцы, халдеи, египтяне до науки о природе дойти не сумели. Религиозно-мистические воззрения не могли породить идею о естественной закономерности явлений. Наука зародилась тогда, когда люди, осмысливая и систематизируя накопленный опыт, стали искать объяснения природы в ней самой.

Утро натурфилософии

Историки считают, что первым греческим физиком был Фалес Милетский (640—550 до н. э.). В преклонном возрасте этот славный муж, один из семи мудрецов Элады, сел на Финикийский корабль и отправился в Египет, чтобы постичь тайные науки жрецов ибисоголового бога Тота. Он прожил долгую жизнь, но не нашел успокоения. Многообразие и изменчивость мира — вот что заставляло его неустанно искать первооснову всех вещей, начало начал. По сути он ставил перед собой задачу, во многом сходную с той, которая стоит сегодня перед физиками Дубны или Беркли. История сохранила нам изречение Фалеса: «Начало всех вещей — вода, из воды все происходит и все возвращается к воде».

Считается, что Фалес знал о таинственной силе магнита и о притяжении легких тел наэлектризованным ян-

тарем. Ему приписывают разделение небесного свода на пять поясов, открытие эклиптики, учение о шаровидности Земли, вычисление видимой величины Луны.

До нас не дошло ни одного сочинения, написанного Фалесом или его учениками. Конечно, милетский мудрец не начинал на голом месте. У него были предшественники и учителя. Но время не донесло их имен.

После Фалеса ионийскую школу возглавил Анаксимандр (610—547 до н. э.). Учение этого философа, тоже уроженца Милета, сложнее и изощренней. Оно несет в себе элементы странности, которой суждено было пройти сквозь века.

Началом начал Анаксимандр считал некое первичное вещество, качественно неопределенное и бесконечное, из которого выделяются первоначальные противоположности тепла и холода, сухости и влажности. Этой гипотезе не хватало только математического аппарата и тридцати столетий эмпирического знания. В противном случае она бы мало чем уступала праматерии Гейзенберга. Это, конечно, шутка. Но, право, стоит задуматься над идеей первичного вещества. Какая сила научной абстракции нужна была, чтобы провидеть в основе всего единое изменчивое начало! Сейчас выражение «безумная идея» стало штампом. Но разве не «безумна» была идея Анаксимандра в эпоху, когда «тепло» и «холод» считались абсолютными противоположностями?

Другой преемник Фалеса, Анаксимен, вносит в учение, не будем бояться современной терминологии, о строении вещества динамическое начало. Первоосновой всего он считает воздух. Все тела произошли из воздуха. При сгущении воздух превращается в воду, а вода — в землю. Разрежение воздуха порождает огонь. Все существа живут за счет воздуха и рано или поздно возвращаются в воздух. Не будем утверждать, что Анаксимен предвосхитил идею сжижения газов или кристаллизации жидкостей. Учения древних столь общи и расплывчаты, что при желании им можно придать любой смысл. Не будем поэтому преувеличивать знания античных натурфилософов. Нам важно понять, что объединяло всех натурфилософов ионийской школы. В основе их учения лежит единое первоначальное вещество, которое превращается во все другие вещества и порождает весь видимый мир. Генетическая связь с современными представ-

лениями о едином поле здесь очевидна. Да, современная наука радикальна, неожиданна, окрашена странностью и «безумием» (в том смысле, как понимал его Бор), но она отнюдь не перечеркивает весь многовековой опыт человечества. Более того, она, в известном смысле, даже традиционна. Иначе ведь и быть не может. Наука не зачеркивает самое себя, как это было принято думать. Только теперь мы видим, как бережно и изящно укладывается в теорию относительности и механика Ньютона, и релятивистский принцип Галилея.

Пифагор Самосский (582—500 до н. э.) считается учеником либо Фалеса, либо Анаксимандра. Во всяком случае он знал их обоих. Он побывал в Египте и, как говорят, в Вавилоне. После длительного общения с египетскими и халдейскими жрецами Пифагор возвратился на родину и основал в Кротоне школу и философско-политический тайный союз. Желавших вступить в союз подвергали долгим и строгим испытаниям. Только пятилетним молчанием абитуриент мог доказать свою способность к самоотречению. Судя по тому, что общество быстро разрасталось, суровые испытания не столько отпугивали, сколько привлекали молодежь. Вскоре пифагорейская школа приобрела большую власть над Кротонем и другими городами. Естественно, это возбудило вражду и смуты. Школа была разрушена, а сам Пифагор погиб в схватке.

Глубокая тайна, окутывавшая всю деятельность союза, не рассеялась и по сей день. Мы мало что знаем об учении Пифагора, хотя названная его именем теорема долгое время выдвигалась в качестве ключа для завязывания контактов с инопланетными цивилизациями. Судя по отрывочным сведениям, которые дошли до нас из позднейших источников, пифагорейцы выдвигали на передний план не столько первоначальное вещество, сколько распределение вещей в природе, их число и меру. Аристотель писал, что пифагорейцы искали аналогию всего существующего и происходящего не столько в огне, земле и воде, сколько в отвлеченных числах. Элементы чисел тождественны с началами вещей — утверждал Пифагор. Это-то и заставляло пифагорейцев повсюду искать числовые законы и подгонять под них весь окружающий мир. Но та же идея вынуждала приписывать определенные свойства (совершенство и несовершенство,

бесконечность и конечность) и самим числам. Современный исследователь сказал бы, что Пифагор столкнулся с математическими трудностями. Что же, математизация идеи зачастую приводит к противоречиям. Но в этих противоречиях скрывается источник дальнейшего развития. Однако путь Пифагора был ошибочным. Он привел к мистическому числовому учению, которое впоследствии слилось с астрологией и дожило до позднего средневековья.

В теории столько науки, сколько в ней математики. Так говорят сейчас. Математическая теория Пифагора мало чем обогатила науку. Слишком уж сильно была опутана математика мистикой.

До наших дней дошли обрывки рукописи одного из ближайших учеников Пифагора Филолая (470—399 до н. э.). Интересно, что пифагорейцы первые (это установлено документально) выдвинули идею о шарообразности Земли. Высказывая это вполне «безумное» по тем временам предположение, они не опирались на какие-либо эмпирические данные. Идея была лишь данью стройности и непротиворечивости теории. Она основывалась на требованиях геометрической гармонии: доискиваясь совершенства в творении, Земле придали наиболее совершенную форму. Это высказывание Филолая интересно сопоставить с аргументацией в пользу существования кварков. Когда читатель дойдет до соответствующего места, он почувствует то общее в методе, что объединяет подход пифагорейцев с самой современной физической гипотезой.

В центре Вселенной пифагорейцы поместили чистейшее из веществ — огонь, вокруг которого должны вращаться на гармонических расстояниях Противоземля, Луна, Солнце, Меркурий, Венера, Марс, Юпитер, Сатурн и сфера неподвижных звезд. Так как обитаемая часть Земли постоянно отвращена от Противоземли и центрального огня, то естественно, что эти небесные тела невидимы. Зато Солнце и Луна отражают на Землю животворный свет центрального пламени.

Пифагорейцев упрекали, что Противоземлю они придумали только для того, чтобы число мировых сфер достигло десяти, как этого требует мистическое учение. Но есть одно обстоятельство, которое заставляет предполагать, что были более серьезные основания для «созда-

ния» Противоземли. Дело в том, что Солнце и затемненная Луна при так называемых горизонтальных затмениях могут наблюдаться стоящими друг против друга. Затмение Луны при этом нельзя объяснить без помощи рефракции. Возможно, что пифагорейцы прибегли к центральному пламени и Противоземле для объяснения затмений. В этом случае введение в теорию добавочных объектов вполне научно. Такой прием очень характерен для физики.

Третья из древнегреческих философских школ — элейская — была направлена против ионийского учения о развитии. Она видит в природе единое неизменное сущее и считает всякое возникновение и множественность призраком. Интересно проследить влияние, которое оказали элейцы на последующих, так называемых младших натурфилософов, принимавших в отличие от ионийцев неизменяемость первоначальных веществ, а в отличие от элейского учения — множественность элементов мира. Мы сталкиваемся здесь с диалектикой развития, когда новое учение вбирает в себя все лучшее из противоречащих друг другу старых систем.

Первым среди младших натурфилософов считается Анаксагор (500—428 до н. э.). Тяга к знаниям заставила его покинуть Лидию и отправиться в Афины. Через несколько лет у него появились все основания утверждать: «Я обязан философии своим материальным разорением, но зато душевным благополучием». Как видите, Анаксагор был истинным ученым. К числу его учеников принадлежали знаменитейшие мужи Эллады — Перикл, Еврипид, Сократ. Вполне естественно, что такой человек вызывал у современников не только любовь и почтение, но и вражду, зависть. Его обвинили в безбожии и приговорили к смерти. Только энергичные хлопоты Перикла спасли ученого. Он удалился в ссылку, утешая себя мыслью: «Не я лишился афинян, а афиняне лишились меня». После смерти Анаксагора остался памятник с величественной надписью: «Здесь покоится Анаксагор, который достиг крайнего предела истины, познав устройство Вселенной».

Много поколений сменилось с тех пор. И каждое было уверено, что кто-то из его представителей достиг крайнего предела истины и познал устройство Вселенной. Наш век тоже не исключение. Может быть, теперь лишь

гораздо чаще, чем когда бы то ни было раньше, звучат голоса сомнения в конечности тех или иных истин. Сегодня мы вооружены материалистической диалектикой, включающей в себя учение об относительных и абсолютных истинах. Только в свете этого учения можем мы по достоинству оценить и вклад греческой натурфилософии в мировую культуру.

Сохранилось лишь несколько отрывков главного сочинения Анаксагора «О природе». Анаксагор не признает превращения вещества при видоизменении предметов, считая, что такое видоизменение происходит от соединения и разъединения мельчайших, невидимых глазу частиц материи.

Обычно книги по атомной физике начинаются с упоминания об атомах Демокрита. Но ведь это только развитие идеи Анаксагора. Более того, он даже на много веков предвосхитил закон сохранения массы, лежащий в фундаменте современного естествознания. Приведем небольшой отрывок из рукописи «О природе»:

«Греки ошибочно предполагают, что будто что-либо начинается или прекращается; ничто не возникает вновь и не уничтожается; все сводится к сочетанию или разъединению вещей, существовавших от века. Вернее было бы признать возникновение сочетанием, а прекращение разъединением».

На самом деле, конечно, философия Анаксагора не столь ясная и далеко не столь пророческая, как это может показаться. Не надо забывать, что мы оцениваем ее с позиций сегодняшнего дня. Тем более, что в основе учения Анаксагора лежало представление о духе. Вначале Вселенная представляла собой хаос элементов, и только дух, разум соединил между собой незримые частицы. Дух Анаксагора противоположен материи, этим он близок бесчисленным модификациям «мировой души», кочующей вот уже третье тысячелетие из одного идеалистического учения в другое.

Вот любопытный отрывок из платоновского «Федона»:

«Я слушал человека, читающего книгу, которая, по его словам, была написана Анаксагором. Когда он читал, что разум всем управляет и все созидает, я был весьма утешен этим объяснением и был рад признать разум причиной всего. Так думал я и готовился приветст-

зовать в Анаксагоре учителя, который объяснит мне смысл явлений; научит, во-первых, плоска ли или шаровидна Земля, и докажет, почему это так, указав цель, с точки зрения которой всего лучше, чтобы Земля имела данную форму. Если же он скажет, что она лежит в центре, то он и докажет, что это положение всего целесообразнее. В таком случае мне не придется дальше искать никакой другой причины. Однако, друг мой, мне пришлось расстаться с этой отрадной надеждой после того, как дальнейшее чтение открыло мне, что Анаксагор не делает никакого употребления из разума, не указывает истинных причин для распределения отдельных явлений в строгом порядке, а напротив того, признает воздух, эфир, воду и много других неподходящих вещей причиной всех вещей».

Оппонент Анаксагора, что называется, на высоте. Требования его к новой теории ясны и вполне справедливы. Он требует гармонии, взаимообусловленности явлений, мотивировки причин и непротиворечивости следствий. Что ж, эти критерии живут и поныне.

Элейцы, пожалуй, первые поняли, что истина отнюдь не самоочевидна, а здравый смысл не является критерием научных теорий. Обманчивость наших чувств была известна уже Анаксагору. Поэтому он приписывал цвета тел только нашему ощущению, и, чтобы выразить это как можно резче, часто высказывал парадоксы, вроде «снег черен».

Идея Анаксагора вылилась в более строгие формы в учении Эмпедокла (492—432 до н. э.). Подобно своему учителю он пишет книгу «О природе», в которой высказывает свое кредо: «Безумцы полагают, что может возникнуть что-либо никогда не бывшее или погибнуть, исчезнуть без следа что-либо существующее. Я постараюсь открыть вам истину. В природе нет возникновения того, что может умереть; нет полного уничтожения; ничего, кроме смещения и разъединения сочетанного. Только невежды называют это рождением и смертью». Очень похоже на Анаксагора, не правда ли? И удивительно подходит, ну, допустим, к трансмутациям элементарных частиц. Тем более, что в отличие от своего предшественника Эмпедокл вместо бесконечного множества первичных элементов берет только четыре стихии: землю, воду, воздух и огонь, то есть три агрегатных состояния веще-

ства и энергию. Но как ни заманчива идея о превращениях агрегатных состояний друг в друга посредством огня, она ничего общего не имеет с системой Эмпедокла. Как, впрочем, и любая другая попытка объяснить мировоззрение древних с позиций сегодняшнего дня. Стихии, или «корни», Эмпедокла неизменны и неспособны возникнуть одна от другой. Движение их обуславливается двумя противоположными началами: любовью и враждой. «То все стремится к слиянию воедино силой любви, то единое расторгается непримиримой враждой». Это стихийная диалектика, смутное предчувствие истины, которую еще нужно добыть в логических построениях. Некоторые исследователи склонны были видеть в любви и вражде Эмпедокла центробежную и центростремительную силы. Но это такое же произвольное примысливание, как утверждение, что Анаксагор сформулировал закон сохранения массы. Нужны были не только весы Лавауазье, но и коренная ломка всего научного мировоззрения, чтобы закон сохранения не просто мог быть сформулирован, но и принят.

История знала много истин, которые были высказаны слишком рано. Им пришлось пережить потом второе рождение.

О жизни Эмпедокла известно очень мало. Если верить Горацию, «Эмпедокл хладнокровно бросился в пылающее жерло Этны, чтобы прослыть божеством, существом бессмертным». Но, как говорит легенда, вулкан выбросил назад железные сандалии, показав, что умер простой смертный. И все же время сохранило книгу «О природе». Эмпедокл обрел бессмертие в памяти поколений.

Демокрит Абдерский (460—370 или 360 до н. э.) и его учитель Левкипп обычно упоминаются вместе. Левкипп еще около 500 г. создал атомистическую теорию мира, которая впоследствии была развита и закончена Демокритом. Вселенная Демокрита — Левкиппа состоит из пустого пространства и бесконечного множества неделимых мельчайших частиц-атомов, отличающихся не качественно (как у Анаксагора), а лишь по своему очертанию, положению и распределению. Тела возникают и исчезают только за счет сочетания и разъединения атомов, так как (вспомним Анаксагора и Эмпедокла) из ничего не может произойти ничего и ничто существующее не

может исчезнуть. Движение атомов обуславливается уже не влиянием какой-то внешней загадочной силы, а силой, присущей от века самим атомам.

С такой общей схемой согласится любой современный физик. Просто в отличие от Демокрита он сумеет доказать, что мир построен именно так, а не иначе. Как будто бы ничтожное различие. Но за ним века борьбы и труда, величие стройного, собираемого по кирпичикам здания современной науки.

Но Демокрит идет дальше. Он пробует расширить чисто качественную формулировку. Атомы Демокрита находятся в состоянии постоянного падения в бесконечном пространстве. Крупные атомы при этом падают быстрее мелких (Демокрит не знал, что все тела падают в вакууме с одинаковой скоростью; такому опыту суждено было осуществиться лишь через два тысячелетия), наталкиваются на них и производят боковые движения, или вихри, которые соединяют атомы в различные тела. Здесь ощущается глубокая аналогия и с древней индийской философией, и с первыми серьезными космологическими построениями позднейших веков.

Демокрита чаще, чем любого другого философа древности, представляют в роли провидца, вырвавшего у природы сущность вещей помимо явлений, одной лишь силой гениальной абстракции. В лучшем случае это преувеличение. Человеческое познание идет к постижению сущности только через понимание явления. И если внимательно изучить античную атомистику, то можно прийти к выводу, что во многом учение Демокрита вполне традиционно. Но древняя атомистика выглядит столь пленительно и современно главным образом из-за слишком общего характера формулировок. Попробуем разобраться, что понимал Демокрит, допустим, под пустотой. Вот как Демокрит доказывает существование пустого пространства: «Если бы его не было, то были бы невозможны: движение в пространстве; разрежение и сгущение тел; рост тел, происходящий благодаря проникновению пищи в скважины». Наконец, в цепи доказательств (для нас это самое интересное) фигурирует и прямое эмпирическое наблюдение, притом совершенно неверное: стакан, наполненный золой, вмещает меньший объем воды, чем свободное от золы пространство. Эта ошибка великого философа имеет не меньшую ценность, чем его

предвидения. Она ясно показывает, что древние добывали истину не путем озарения, а примерно так же, как это делаем мы. И мы вправе проследить историю человеческой мысли как непрерывный преемственный процесс.

Четыре стихии и только один гений

Физические идеи Платона (429—347 до н. э.) выглядят столь же фантастично, как и миф об Атлантиде. Впрочем, они лишены непосредственности и пленительной поэзии описаний Золотого острова. Платоновская космогония мертва и схоластична. В центре Вселенной неподвижно покоится Земля, вокруг которой на расстояниях, соответствующих гармоническим отношениям тонов, проплывают планеты. Элементы огня обладают строгими геометрическими формами тетраэдров, элементы воздуха — октаэдров, воды — икосаэдров, земли — гексаэдров. Элементам соответствуют четыре стихии: от тяжелой — земли до самой легкой — огня. Каждая стихия стремится занять свое место, и тела следуют преобладающему в них началу: камни падают на землю, огонь улетает к звездам.

Удивительно неуютная, можно сказать даже, строго бюрократическая система. Недаром она пришлась так по вкусу средневековым догматикам. У идей интересные судьбы. Чисто формальные и мертвые схемы зачастую задерживались на исторической арене много дольше животворных революционизирующих учений. Оно и понятно. Первые становились прибежищем закоренелого консерватизма, вторые служили истинному знанию, а потому гораздо скорее обнаруживали скрытые противоречия — источник всякого развития.

Из учеников Платона для нас интересен Евдокс Книдский (408—355 до н. э.), выдвинувший остроумную гипотезу для объяснения неправильностей в движении планет.

Ионийцы и пифагорейцы снабдили каждую планету особой полой сферой, с помощью которой планета совершала свое обращение вокруг Земли. Но с помощью таких сфер никак не удавалось истолковать разнообразные неправильности планетных путей. Представители обеих школ упорно отстаивали необходимость равномерного

кругового движения для всех небесных тел, потому что лишь оно одно казалось им достойным неба. Но планеты перемещались вдоль небосвода неравномерно, то ускоряя, то замедляя свой бег. С этим нельзя было не считаться. Платон предложил Евдоксу придумать другое объяснение движению планет. Нужно было изгнать из холодной и гармоничной системы последние капризы природы. Евдокс блестяще справился с порученным делом. Он предположил, что каждая планета укреплена на прозрачной шаровой оболочке (как тут не подивиться человеческому хитроумию, соединенному с бескомпромиссностью абстрактного мышления!), вращающейся у полюсов и заключенной в другой такой же шар, который, в свою очередь, тоже находится внутри прозрачной сферы, а та — тоже в шаре и т. д. Каждая сфера вращается вокруг своей оси равномерно и в установленном направлении. Но из совокупности вращений всех сфер и складывается присущее планете неравномерное движение. Для каждой планеты понадобилось четыре сферы: одна для дневного движения совместно с неподвижными звездами, другая — для изменения долготы, третья — широты, четвертая объясняла обратное движение планет. Солнцу и Луне понадобилось всего лишь по три оболочки — обратного движения за ними не замечалось.

Все это сейчас вызывает улыбку. Но в свое время гипотеза Евдокса выглядела не менее красивой, чем механика Кеплера или электродинамика Максвелла. В ней были все необходимые элементы теории, обобщающей и объясняющей совокупность ранее непонятных явлений. Недаром Аристотель целиком принял ее на вооружение, внося, конечно, некоторые поправки. Так, Евдоксу для объяснения обращения планет понадобилось 26 сфер, Аристотель довел их число до 55.

Аристотель (384—322 до н. э.) родился в Стагире — северном городе у Стримонского залива, а умер в изгнании на Эвбее, после того как антимакедонская партия обвинила его в оскорблении богов. Классическое обвинение и классическая судьба ученого! Но обратимся, однако, к аристотелевскому учению. Если Демокрит был убежден в дискретности материи, то Аристотель проповедовал обратное — ее непрерывность. Этот великий спор прошел сквозь всю историю естествознания, не закончился он, как мы увидим далее, и по сей день.



Под природой Аристотель понимал совокупность физических тел, состоящих из вещества и находящихся в состоянии непрерывного движения или изменения. Всякое движение протекает, естественно, во времени и пространстве. Пространство Аристотеля сплошь заполнено материей. Поэтому нет ни пустоты, ни мельчайших неделимых частиц — атомов, которые бесконечно падают в этой пустоте. Пустота по Аристотелю — это простое отрицание материи, где невозможно определение и различие места. Движение же предполагает такое различие. Отсюда вывод: в пустоте движение невозможно.

В основе всего сущего лежит первоматерия. Ей присущи четыре основных свойства: влажность, сухость, тепло и холод.

Разнообразие веществ в природе вызвано различными сочетаниями этих свойств. Основные стихии: земля, вода, огонь и воздух — это определенные комбинации двух свойств. Землю характеризуют сухость и холод, воду — холод и влажность, огонь — тепло и сухость, воздух — влажность и тепло.

Изменение одного из свойств — причина любых превращений. Если к воде, допустим, прибавить тепло, то свойство «холодное» превратится в «теплое». Вот объяснение того, что при нагревании вода испаряется, т. е. превращается в воздух. Аналогично протекает и обратный процесс. Если сообщить воздуху свойство «холодный», то от этого произойдет туман, оседающий на камнях и листьях в виде воды. Но стоит сообщить воде добавочное свойство — «сухость», и она превратится в камень. Тайна превращения веществ сводится, таким образом, к добавлению одних качеств к другим.

Отсюда вполне естественно вытекает тезис, что все металлы, будучи близки по своему составу, могут переходить друг в друга. Понятно, что благородные металлы можно превратить в золото. Впоследствии алхимики часто ссылались на Аристотеля. Теперь, в век ядерной энергии, мы видим, что он в сущности был прав. Но такое «оправдание» с высоты новых спиралей развития науки не спасает, конечно, ложные теории. Аристотель или Парацельс были бы правы сегодня, но в свое время они заблуждались.

Идея стихий, или начал, у Аристотеля неотделима от движения. Начала по природе своей легки или тяжелы.

Земля абсолютно тяжелая, огонь абсолютно легкий, воздух и вода относительно легки или тяжелы, смотря по их сочетанию с другими началами. Отсюда и всем земным телам изначально присуща легкость или тяжесть. Они поэтому стремятся либо к земле, либо к небу. Движения снизу вверх и сверху вниз естественны для тел и продолжаются вплоть до насильственной остановки. Все же другие движения являются вынужденными, порожденными толчком или давлением. Подобно теплоте они прекращаются сами собой, когда исчезает вызвавшая их причина. Естественные прямолинейные движения тел неравномерны, конечны и потому несовершенны. Совершенство присуще лишь круговому движению, которое протекает вечно. Непосредственной причиной такого движения является пятое начало — эфир, из которого состоит небо, *quinta essentia* — пятая сущность. Естественно, что равномерно движущаяся сфера неподвижных звезд нацело состоит из эфира. Планетные же сферы включают в себя и земные начала. Вот отчего их движения столь несовершенны.

Идея эфира надолго сохранится в физике. Она будет совершенствоваться, видоизменяться, но суть ее останется прежней — неизменной и неосязаемой, как сам эфир.

Аристотель гораздо больше философ, чем физик. Он пытался создать целостную картину природы. Одним широким взмахом пытался он объять все мироздание. Это был чисто умозрительный путь. Спустя века наука встанет на противоположный путь бескрылого эмпиризма. И лишь в новое время люди увидят в этих противоположностях великое единство, поймут диалектику познания. Аристотель велик своей попыткой вскрыть общее единство мира. Посмотрим, как отомстило ему пренебрежение определенностью частных проблем. Физическая мысль не может развиваться без точных измерений. Не опираясь на строго количественные закономерности, редко удастся правильно нарисовать и чисто качественную картину явления или процесса. Возьмем отрывок из «Физики» Аристотеля:

«Кипящая вода согревает сильнее пламени, но пламя сжигает горячее и плавит плавимое, вода же нет. Далее. кипящая вода жарче слабого огня, но теплая вода охлаждается скорее и сильнее слабого огня, так как огонь не теряет жара, вода же постепенно охлаждается. Кроме

того, кипящая вода на ощупь горячее, но холодеет и отвердевает скорее масла. Кровь на ощупь теплее воды и масла, но быстрее их отвердевает. Камни, железо и т. п. нагреваются медленнее воды, но, будучи нагреты, они жгут сильнее. Сверх того, одни из так называемых теплых тел содержат постороннюю теплоту, другие же обладают собственной. Существует, однако, большая разница между теми и другими видами тепла. Одно тепло имеет теплоту случайно, не по своей природе, совершенно так, как в случае, если бы большой лихорадкой был музыкантом и кто-нибудь сказал, что музыкант теплее человека, обладающего здоровой теплотой. Между телами, из которых одно обладает собственной теплотой, а другое нагрето до случайной, первое охлаждается медленнее, второе же теплее на ощупь. С другой стороны, тело, обладающее собственной теплотой, жжет сильнее: например, огонь обжигает сильнее кипящей воды, хотя кипящая вода на ощупь горячее, обладая случайной теплотой. Ясно, таким образом, что далеко не просто решить, в котором из двух тел больше тепла, так как на один лад оказывается теплее одно тело, на другой — другое».

Конечно, будь у Аристотеля хоть какой-то критерий теплоты, данное рассуждение имело бы большую ценность. Но, располагая лишь качественными характеристиками, даже гениальный ученый немного сумеет достичь. Представьте себе физика, который пытается дать систематику элементарных частиц, не располагая сведениями об их массах, зарядах, спинах. Вряд ли он сделает больше, чем Аристотель.

Зато в вопросах более отвлеченных, стоящих на грани физики и философии, высказывания Аристотеля до сих пор вызывают удивление. Вот какое определение дал Аристотель движению: «Движение есть осуществление существующего в возможности. Оно есть действие движимого, относящееся к его подвижности». Движение по Аристотелю включает в себе пять начал: движущее, движимое, направление движения, исходную точку и цель. При этом цель в известной мере определяет и характер движения. Движение неотделимо от изменения количества, качества или места.

Аристотелем заканчивается творческий, как его иногда называют, период греческой натурфилософии. Законченная, внутренне замкнутая система не легко поддава-

лась дальнейшему развитию. Да и авторитет Аристотеля был настолько велик, что мало кто решался на переоценку его учения.

Путь к упадку

Послеаристотелевский период чем-то напоминает двенадцатый век, когда многим казалось, что физика полностью исчерпала себя и стала абсолютной истиной. Ближайшие последователи Аристотеля Эвдем и Теофраст позволяют себе еще робкие попытки развить его учение. Но вскоре аристотелевская система канонизируется, и уже больше никто не посягает на нее. Следует отметить, однако, что рядом с истолкователями великого мыслителя из школы перипатетиков, объяснявшей мир с телеологических позиций, конечными целями и стремлением к совершенству, развивалось и учение атомистов.

Но даже такой замечательный атомист, как Эпикур (341—270 до н. э.), столь неуклонно следовал своему богу — Демокриту, что его физика смело может быть названа демокритовской.

Период приблизительно от 300 г. до н. э. до 150 г. н. э. считается периодом античной математической физики. Надпись над воротами платоновской академии: «Никто не сведущий в математике да не входит в этот дом» — вполне могла быть отнесена ко всей науке того времени. И все же, за исключением Эвклида, создавшего формальный геометрический аппарат, никто из древнегреческих физиков того периода не внес существенных изменений в представления о пространстве, времени и веществе. Впрочем, отдельные сдвиги все же были. Аристарх Самосский учил, что Земля вращается вокруг неподвижного Солнца. На возражение, что при таком вращении неподвижные звезды должны были бы изменить свое видимое положение, он, с полным на то основанием, указывал на громадное расстояние между Солнцем и звездами. В этом смысле он был предтечей не только Коперника, но и Эйнштейна. Ведь прежде всего он восстал против самоочевидных вещей, против «здорового смысла». Но гелиоцентрическая система не имела еще достаточных основ, она была явно преждевременной. Геоцентризм настолько всех удовлетворял, что лучшие астроно-

мы того времени не поддерживали Аристарха. Его учение было основательно забыто. Копернику, во всяком случае, пришлось «открывать» гелиоцентризм вновь. Истина всегда находила творца, когда наступало ее время.

Гениальные работы Архимеда заложили основы экспериментальной физики. Недаром он считается «отцом физики». На физическом факультете Московского университета ежегодно торжественным карнавалом отмечается праздник Архимеда. На первом таком празднестве автор проехал на электрокаре несколько десятков метров с самим Архимедом и Л. Д. Ландау. Сзади шли Рентген, Гиббс, Ферми и другие великие физики. Все они, за исключением Л. Д. Ландау, понятно, были студентами, но каждый носил в ранце маршальский жезл. Мы ни в малейшей степени не посягаем на авторитет отца физики. Но поскольку его работы не касались излагаемых в книге фундаментальных проблем, мы с величайшим сожалением оставим их без рассмотрения.

Точно так же поступим и с учением Эрастофена, который довольно точно определил диаметр Земли, и Клеомена — автора «Циклической теории метеоров». И хотя для развития физики как экспериментальной науки Ктезибий и Герон сделали неизмеримо больше, чем поэт Тит Лукреций Кар, мы не можем умолчать о его дидактической поэме «De natura rerum» («О природе вещей»).

Лукреций был в нашем понимании популяризатором науки. Тем не менее его роль в развитии атомистики трудно переоценить. Может быть, здесь сказывается сила искусства, его условность, столь отличная от научных абстракций и аналогий, но Лукреций во все эпохи звучит одинаково современно.

«...Платье сыреет всегда, а на солнце вися,
оно сохнет,
Видеть, однако, нельзя, как влага на нем оседает,
Как и не видно того, как она исчезает от зноя.
Значит, дробится вода на такие мельчайшие части,
Что не доступны они совершенно для нашего глаза».

Не верится, что с тех пор, когда были написаны эти строки, прошло две тысячи лет...

Конечно, Лукреций мало что добавил к учению Демокрита. И все же мы обратились к нему не случайно. Большой отрывок из поэмы показывает не столько то,

что думали древние, а как они думали. Это образец ясной логики, приводящей к однозначному выводу.

Но не только это привлекает нас в поэме «О природе вещей». Остановимся на исключительно интересном объяснении причин магнетизма.

Из всех тел непрерывно истекают потоки атомов, с помощью которых тела взаимодействуют друг с другом. Потоки, исходящие из магнита, так сильны, что вокруг него образуется безвоздушное пространство, которое и притягивает к себе железо. Лишь оно одно обладает свойством притягиваться к магниту. Остальные тела ведут себя по-другому: тяжелые массой своей противостоят магнитному потоку, легкие, а следовательно, пронизанные большими отверстиями, пропускают такой поток сквозь себя.

Этот пример показывает, как характерно было для поздней натурфилософии подкреплять одни гипотезы другими, еще более туманными. Такая методология характерна, пожалуй, для представителей всех школ. Гипотезы громоздились одна на другую до тех пор, пока вся система не рушилась, как карточный домик. И никакого стремления проверить хотя бы одну из них на опыте.

Путь идеи противоречив и причудлив. Далеко не всегда можно проследить ее воплощения и истоки. По аналогии с теорией поля скажем, что это своего рода квантовый процесс. Отнюдь не всегда у идеи есть историческая траектория. Идея умирает и возрождается, но между обоими актами может и не быть преемственной связи. Мы находим иногда аналогии между древней наукой и современной, но они могут быть совершенно случайными. А там, где таких аналогий как будто бы нет, при ближайшем рассмотрении удается найти самую тесную связь между гипотезой далекого прошлого и современной теорией. Как не правы все-таки те, кто утверждал, что наука каждый раз сжигает за собой мосты. Они просто не замечали, что на месте маленького мостика появлялся другой — огромный, одним пролетом соединяющий берега.

Птоломеем (70—147) заканчивается античный период истории естествознания. Авторитет его был признан единодушно и держался долее всего. Греки, римляне, арабы и христиане одинаково чтили его. Не один ере-

тик сгорел на костре за посягательство на птоломеевский «Общий обзор». Несколько столетий католическая церковь отстаивала учение Птолемея всеми принятыми на вооружение средствами. В тринадцати книгах Птоломей собрал и обобщил все достижения древней астрономии. Но принципиально птоломеевская система мира с неподвижной Землей в центре Вселенной мало чем обогатила науку. Эта система была слишком сложна. «Легче, кажется, двигать самые планеты, чем постичь их сложное движение» — писал Птоломей. Эта сложность в конце концов и взорвала изнутри его учение. В новейшее время за Птоломеем не хотели признавать даже славы творца системы мира, приписывая авторство Гиппарху.

Период с 150 до 700 г. н. э. считается упадком древней физики. Свободный критический дух эллинской натурфилософии сменяется мистицизмом Плотина и Фирмана Лактанция.

Последний писал: «Могут ли люди быть настолько безрассудными, чтобы верить, будто на противоположной стороне Земли злаки и деревья растут вершинами вниз, а у людей ноги находятся выше головы». Так «здравый» смысл пытался вытравить из натурфилософии ростки релятивизма. Это в какой-то мере напоминает атаки «арийской» физики на теорию относительности в годы нацизма. Уровень аргументации во всяком случае очень схож.

Об основах алхимии и о вреде обожествления

После того как последние философы афинской школы были изгнаны византийским императором Юстинианом, воцарились, по выражению одного летописца, тьма и молчание. Казалось, что факел, зажженный греческими мыслителями, погас. Но эстафету знания подхватили арабы. Период с 700 до 1150 г. н. э. так и называется периодом арабской физики. Арабы безоговорочно приняли философию Аристотеля, который стал на Востоке чуть ли ни полубогом. Математика, астрономия, медицина пышно расцветают при дворах калифов. Но основ мироздания арабские мудрецы почти не касаются, оставаясь в плену аристотелевских представлений, утратив-

ших к тому же первоначальный творческий и беспокойный дух.

Первый выдающийся химик арабов Абу-Муза-Джабир, или Гебер, как его принято называть, жил около 800 г. Вплоть до XV века Гебер оставался высшим авторитетом среди арабских и европейских ученых. Это был Аристотель химии. Недаром Роджер Бэкон называл его *Magister Magistrorum*.

Греческие ученые почти не занимались химией. Гебер же не только поражал знаниями в этой области, но и предпринял попытку дать первую химическую теорию.

Он считал, что металлы состоят из больших или меньших количеств ртути и серы. При этом он подразумевал под ртутью и серой не конкретные вещества, а некие чистые начала. При сгорании металл теряет серу, поскольку сера — это сгораемая субстанция, источник горения.

Позднейшие средневековые химики, принимая теорию строения металлов Гебера, интересовались не столько горением, сколько превращением веществ. Ведь такая идея напрашивалась сама собой! Раз все металлы состоят из одних и тех же начал, то, меняя соотношения начал, можно превращать одни металлы в другие, свинец в золото, например.

Поэтому Гебера считают отцом не только химии, но и алхимии. Тем более, что ученики его пошли именно по пути алхимии. Слишком уж заманчиво было повторить опыты по превращению одних металлов в другие.

Итак, логика развития нашей темы приводит нас в мрачный подвал средневекового алхимика.

«Нельзя знать науки, не зная ее истории,—писал Альберт Пуассон. — От первой зародившей ее идеи до нашего времени — сколько непрестанных усилий, сколько блужданий! Мы беззаботно пользуемся работами наших предшественников, не думая об огромном количестве физического труда, потраченного ими, чтобы расчистить нам дорогу. Как много из них испортили свое здоровье, истратили имущество, отказавшись от всех почестей и наслаждений из-за любви к знанию! Сколько умерли мучениками, утверждая до последнего дыхания вечную истину!»

Эти прекрасные слова можно отнести и к тысячам безымянных алхимиков, отдавших жизнь обманчивой надежде. Вольно или невольно, они тоже участвовали в

великом процессе познания. Они тоже искали первооснову вещей.

Алхимики средневековья относили начало своей науки ко временам мифической Атлантиды. В таинственных храмах этой погибшей страны начались первые поиски средства, превращающего любые металлы в золото и серебро. Но ортодоксальная традиция приписывает создание искусства превращать вещи в золото египетскому жрецу Гермия Трижды Величайшему — автору 42 легендарных научных трактатов. В средние века какой-то алхимик даже изготовил документ, получивший впоследствии название Изумрудной таблицы Гермия. Стоит познакомиться с этой забавной фальшивкой, не лишенной, правда, некоторой поэзии.

«Это верно, без обмана, истинно и справедливо!

То, что внизу, как то, что вверху, и то, что вверху, как то, что внизу, для того, чтобы совершить чудеса одного и того же. И подобно тому, как все предметы произошли из одного, по мысли Одного, так все они произошли из этого вещества, путем его применения.

Его отец Солнце, его мать Луна, Ветер носил его в своем чреве, Земля его кормилица. Солнце отец всякого совершенства во Вселенной. Его могущество безгранично на Земле.

Отдели землю от огня, тонкое от грубого, осторожно, с большим искусством. Это вещество поднимается от земли к небу и тотчас снова нисходит на землю. Оно собирает силу и верхних и нижних вещей.

И ты получишь славу мира, и всякий мрак удалится от тебя.

Это могущественная сила всякой силы, она уловит все неуловимое и проникнет во все непроницаемое, потому что так сотворен мир!

Вот источник удивительных применений... Вот почему я был назван Гермием Трижды Величайшим, владеющим тремя отделами Всеобщей философии. Я сказал здесь все о деле Солнца».

Под Солнцем, конечно, имеется в виду золото. Но, право, как далеко нужно было уйти назад от Аристотеля и Гебера, чтобы написать такой рецепт. Мистицизм, возврат к дикости, пренебрежение фактами — это тоже, к сожалению, характерно для развития науки. Как мы увидим потом, попытка задушить истинное знание была

сделана даже в двадцатом веке. Мы с вами жили в одно время с людьми, пытавшимися возродить мрачный и бесплодный дух средневековья. Поэтому история заблуждений столь же важна, как и искания истины. Мы должны знать, кто и как пытался завести познание в тупик.

В первооснове своей алхимия не является ложной наукой. Теперь, когда люди научились синтезировать даже не существующие в природе элементы, мы понимаем это особенно ясно. Алхимию нельзя поставить в один ряд с астрологией и магией. Пока арабы смешивали и разделяли вещества, стараясь превратить свинец в золото химическими приемами, они оставались истинными учеными. Но как только алхимики стали для таких превращений искать философский камень, красную тинктуру, в общем любой другой источник всяких совершенств, они сделались шарлатанами. Вольно или невольно, хотели они этого или нет. Компромиссов здесь быть не могло. Научные поиски алхимики подменили фантазиями, а логический анализ — мистическими гаданиями. Вот почему нет никаких оснований преуменьшать вред, который нанесла алхимия развитию естествознания. Но не нужно впадать и в другую крайность. Алхимия началась не с теорий, а с опытов и накопила за века своего существования ценный фактический материал. Тем более, что и мистический туман вокруг алхимических доктрин порой напускался лишь для того, чтобы скрыть от непосвященных суть самых конкретных химических реакций, которые легко воспроизвести.

Возьмите хотя бы рисунки в древних книгах по алхимии. На первый взгляд, это мрачные гротески — скелеты, вороны, факелы — полный мистический букет. Вместе с тем некоторые из них весьма легко расшифровать. Это не что иное, как эмблемы химических процессов: перегонки, разложения и т. п. В результате действия огня, к примеру, появляется черный обуглившийся скелет вещества (зола) и птица (летучий газ). Не более чем первоначальная химическая символика. Условный язык для записи протекания тех или иных реакций.

Известный французский химик-ядерщик Бержье — большой знаток древних наук — расшифровывает истинный смысл многих алхимических операций, которые

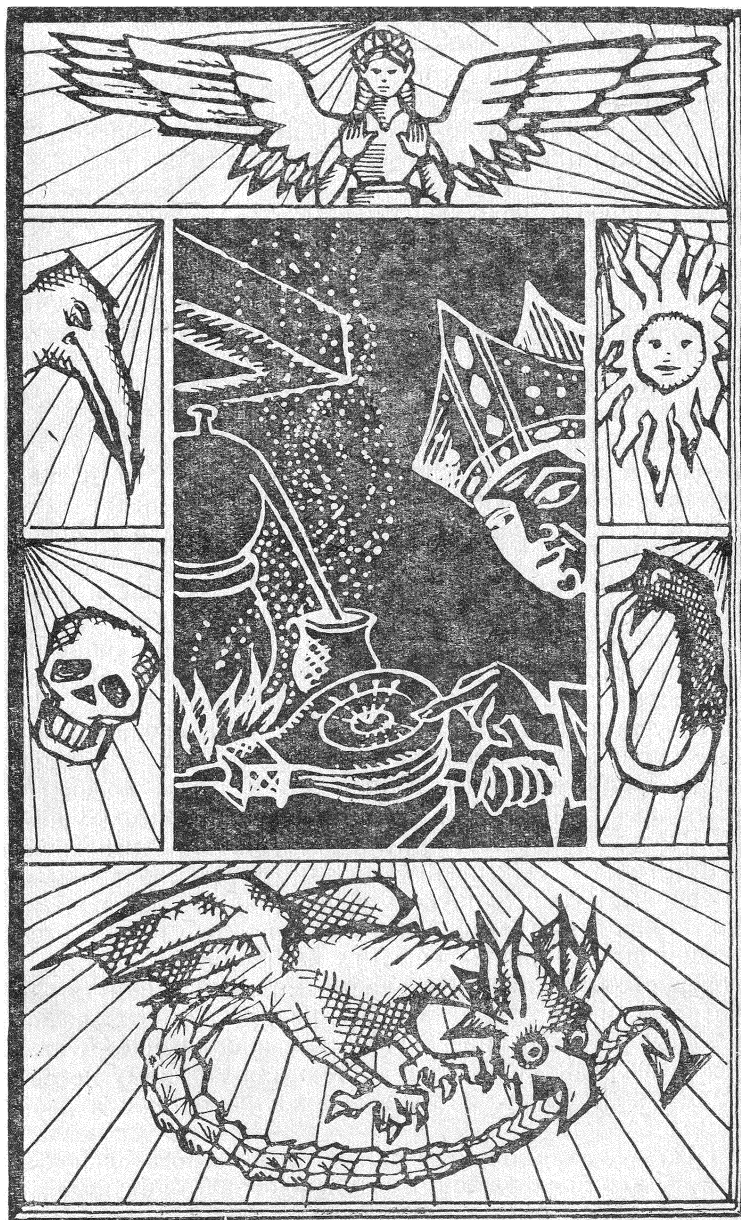
внешне выглядят стопроцентным колдовством. Алхимические молитвы и заклинания, в частности, он рассматривает как способ отсчета времени в темной лаборатории. Довольно остроумное толкование. Возможно, что где-то в первоосновах так оно и было на самом деле, но, передаваясь из поколения в поколение, «способы отсчета времени» наверняка превратились в магические заклинания.

Конечно, нельзя целиком отрицать влияние алхимии на общечеловеческую культуру. Но одно надо понимать ясно: Беспорядочные гадательные пробы всех возможных химических комбинаций не имеют ничего общего с экспериментальным научным методом. Точно так же ничего общего с алхимией не имеет и «современная алхимия». Только общая отправная идея о единой основе вещества объединяет современную ядерную физику с «Великим деланием» золота. Но эта идея, кстати, не принадлежит алхимикам. Они получили ее в наследство от греческой натурфилософии. Современная наука не есть продолжение алхимии. Это два ручья, бегущие от единого родника. Один окончательно и бесповоротно затерялся в болоте, другой превратился в могучую реку, вливающуюся в бескрайний океан.

Арабы многого достигли в астрономии, геодезии, оптике. Измерения, сделанные Альгазеном (XI век), до сих пор поражают необыкновенной точностью. Приведем несколько примеров из таблицы удельных весов, составленной Альгазеном, указав при этом в скобках современные данные. Литое золото 19,05 (19,3); ртуть 13,56 (13,545 при 20° C); свинец 11,32 (11,34); серебро 10,30 (10,445); медь 8,66 (8,89); железо 7,74 (7,88); жемчуг 2,60 (2,684); слоновая кость 1,64 (1,825—1,917); кипящая вода 0,958 (0,95835).

Цифры эти удивительно красноречивы. Ничего подобного греки, конечно, не знали. Но, несмотря на обширную эмпирическую основу, арабские ученые не выдвинули новых философских концепций строения мира. И даже такой видный ученый, как Аверроэс (Ибн-Рошт), остался в памяти потомков лишь как почитатель и комментатор Аристотеля.

«Аристотель положил начало и конец всем наукам. До него не было писателя, достойного упоминания, и никто в течение пятнадцати веков после него не прибавил



чего-либо выдающегося к его учению и не указал в нем каких-либо заблуждений. Аристотель — величайший из людей. Бог допустил его достигнуть венца всякого совершенства».

Какое уж тут могло быть развитие и совершенствование картины мира при таком отношении к предшественникам.

Нет ничего враждебнее самой идее науки, нежели канонизация учений и обожествление учителей. Впрочем, и в других видах человеческой деятельности это не приносило пользы. Но такие попытки были, есть и, очевидно, еще будут. Вот почему о них надо говорить. Они не менее вредны, чем нигилистическое отрицание всего, что было накоплено в прошлом. Строить на пустом месте нельзя, но и бесполезно строить вообще, если ты уверен, что все лучшее уже давным давно создано. Задача и смысл деятельности человечества — идти вперед. Вот почему необходимо каждый раз подвергать строгой и бережной переоценке все, что было создано ранее.

Теория относительности уже давно блестяще и полностью подтверждена. Она лежит в основе всего современного естествознания. Вместе с тем в ряде лабораторий мира до сих пор продолжают опыты по опровержению теории относительности. Появляются даже статьи об успехах в этой области, правда, в следующем номере журнала кто-нибудь обязательно находит в них коренные ошибки. Приносят ли пользу такие очевидно бесплодные работы? Как это ни странно, польза от них есть. Нельзя превращать научную теорию в религиозную догму. Только религиозные догмы боятся проверки и сомнения. Истинной науке это не страшно. Вот почему стоит запретить (как будто в науке вообще можно что-то запрещать, или разрешать) бесплодные опыты по проверке теории относительности, может возникнуть соблазн перенести такой запрет на другие, отнюдь не праздные попытки проверить то или иное учение. А это, в свою очередь, приведет к застою или к такому нетерпимому положению, которое сложилось у нас в свое время в биологии.

Пусть чудаки опровергают теорию относительности хотя бы для поддержания в науке здорового критического духа.

**Мрак сгущается перед рассветом,
но он и бледнеет перед рассветом**

В тишине монастырских стен средневековой Европы медленно стала просыпаться оцепенелая мысль. Пробуждается интерес и к сочинениям греческих философов. Именно тогда появляется знаменитое онтологическое основание бытия божия, по которому бог, как совершеннейшее существо, необходимо должен существовать, потому что в противном случае он не был бы совершенным. Отстаивая свое существование, церковь — такова логика развития — наносит себе смертельный удар. Она обращается, доказывая существование бога, не только к чувству, но уже и к разуму человека. А это цепная реакция. Разуму мало теперь формулы епископа Ансельма Кентерберийского: *Credo ut intelligam* (верую, чтобы понимать). Он уже хочет понимать, чтобы верить; или, может быть, наоборот, не верить?

Обращение к разуму мстит. Для доказательств ведь требуется строгая логика, а для полемики — даже некоторые элементы диалектики. Вот почему приходится обращаться к учениям древних философов. Конечно, с оговорками и постепенно. Притом с единственной целью установить догматы на рациональной почве, признавая веру нормой познания, а вероучение критерием любого исследования... «Веря непоколебимо, любя свою веру и живя согласно с нею, пусть каждый ищет в смирении оснований для своей истины. Если он будет в состоянии постичь их, то пусть возблагодарит бога; если же нет, то да не восстанет он против истины, а преклонит голову да благоговеет». Бездна времени разделяет эти слова Ансельма и учение Эпикура. Кажется, что человечество необратимо отброшено назад. Но трещина в церковном учении наполнена порохом. Достаточно искры, и все многовековое церковное здание взлетит в воздух. Порох — это дух новой, высшей, по сравнению с рабовладельческой Грецией, общественно-политической формации. История может дремать веками, накапливая незаметные количественные изменения. Но количество перерастает в качество. И тогда — взрыв, после которого история раскручивается со стремительностью разжатой пружины.

Конечно, философия не должна учить ничему, чему не учит в то же время церковь. Задача ее — доказывать истину христианского учения свойственным ей способом — умозрительно. Только ради этого и терпит философию церковь Средневековая философия, которую мы называем сейчас схоластикой, вряд ли казалась опасной. Подобно смиренной приживалке держалась она предначертанной ей программы, но уже само ее существование отделило познание от веры.

История знания не стоит на месте. К XIII—XIV векам накопилось много таких фактов, которых не знали ни Демокрит, ни Аристотель. Появились первые истинные естествоискусатели. Их славную когорту открывает Роджер Бэкон.

Бэкон с удивительной для XIII века последовательностью пропагандирует экспериментальный метод: «В каждой науке необходимо следовать наилучшему методу, т. е. изучать каждую вещь в надлежащем порядке, ставить первое в самом начале, легкое перед трудным, общее перед частным и простое перед сложным. Изложение должно быть доказательным. Последнее невозможно без опыта. У нас имеется три средства познания: авторитет, мышление и опыт. Авторитет ничего не стоит, если утверждение его не может быть обоснованно; авторитет не учит, он требует только согласия. При мышлении мы обыкновенно отличаем софизм от доказательства, проверяя вывод опытом».

Ничего подобного схоластика не знала. Еще в начале XVII столетия на предложение взглянуть в зрительную трубу на солнечные пятна какой-то патер ответил: «Напрасно, сын мой, я дважды прочел всего Аристотеля и не нашел у него ничего подобного. Пятен нет. Они проистекают из недостатков твоих стекол или твоих глаз». Роджер Бэкон совершил громадный шаг вперед в методологии науки. Но сам Бэкон, к сожалению, далеко не всегда следовал своей программе. Этот оригинальнейший мыслитель не оказал существенного влияния ни на современников, ни на исследователей последующих столетий. Его методология была преждевременной. Она не могла привиться на бесплодной почве схоластической философии. Но Колумб уже готовится совершить путешествие в Индию, а Коперник начинает задумываться над обращением небесных тел.

Первый релятивистский принцип

Коперник более тридцати лет держал в тайне свое гениальное творение. Только в 1530 г., когда грандиозный труд был закончен, он показал его ближайшим друзьям:

«Хотя я знаю, что мысли философа не зависят от мнения толпы, что его цель искать прежде всего истину, насколько бог открыл ее человеческому разуму, но тем не менее при мысли, что моя теория может многим показаться нелепой, я долго колебался, не лучше ли отложить обнародование моего труда и подобно Пифагору ограничиться одной устной передачей его сущности моим друзьям».

Друзья убедили Коперника не спешить с публикацией. Причина на то была самая веская — инквизиция. Первые экземпляры своего сочинения Коперник увидел уже незадолго до смерти. Он не пережил ни безразличия, с которым ученый мир отнесся вначале к его теории, ни преследований, которым подвергла церковь его последователей.

К низвержению прежней системы мира Коперника привели не только астрономические, но и чисто физические соображения. Он писал: «Если кто-либо сочтет Землю движущейся, то он, конечно, скажет, что ее движение — естественное, а не вынужденное. Все, что соответствует природе, производит противоположный эффект по сравнению с тем, что достигается вынужденно. Предметы, к которым приложена сила или вынуждающее воздействие, с необходимостью должны быть разрушены и не могут длительно существовать, в то время как созданные природой пребывают в согласии с ней и находятся в наилучшем расположении. Птоломей не имел оснований опасаться, что Земля и земные тела будут разрушены вращением, произведенным действием природы, весьма отличающимся от действий, вызванных искусством или промышленностью. Почему он не боялся более быстрого движения мира, ведь небеса гораздо больше Земли?»

Мы ясно видим, что аргументация Коперника восходит к далеким прообразам античной натурфилософии.

У Аристотеля естественные круговые движения в надлунном мире противостояли вынужденным и прямо-

линейным естественным движениям в мире подлунном. Коперник заменил движущееся себе тождественное тело целой системой, естественный порядок в которой сохраняется с первых дней творения.

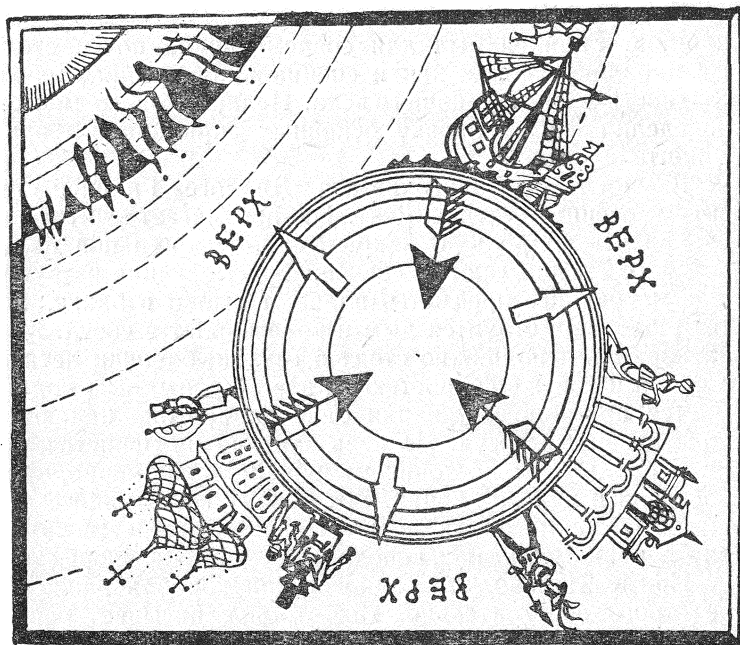
Потом этот естественный порядок системы, движущейся «без вынужденного воздействия», преобразится механикой Ньютона в закон, устанавливающий пропорциональность силы и ускорения в галилеевых системах.

Коперник использовал богатейшее античное наследство и в то же время подвергнул радикальной переоценке самые, казалось бы, твердо установленные истины. Он дал новый ответ на старые вопросы и этим окончательно подорвал античную систему мира, разрушив традиционную грань между земной и небесной механикой.

Пройдут десятилетия, и Галилей увидит в свой телескоп лунный ландшафт, который покажется ему похожим на земной. И это не удивит гениального флорентийца. Ведь земля и небо живут по одним законам. Открытия Галилея стали возможными не только потому, что он впервые взглянул на небо через увеличительное стекло. Эксперимент слеп без ясной теоретической предпосылки. Вот почему столь важна была для Галилея теория Коперника.

Мало найти рядом с Юпитером четыре маленькие звездочки и назвать их планетами Медичи, нужно еще и понять, что это спутники-луны, и похоронить тем самым изначальное представление об исключительности Луны, да и самой Земли тоже. Благодаря теории Коперника Галилей заранее знал, что Венера, как правило, должна быть видна в форме серпа. Это помогло ему первым обнаружить фазы Венеры. Изменчивость солнечных пятен позволила ему доказать, что Солнце, как и Земля, вращается вокруг собственной оси, совершая полный оборот в течение примерно месяца. Увидев в телескоп, что Млечный путь состоит из многих и многих звезд, он распространил теорию Коперника за границы Солнечной системы, показав, что Солнце — всего лишь одна из звезд безграничного космоса.

Очевидно, лишь для более доступного и наглядного изложения системы Коперника Галилей в своих сочинениях заставляет планеты обращаться вокруг Солнца не по эллипсам, как это показал его гениальный современник Кеплер, а по кругам.



Но Галилей не осознает еще принципа взаимодействия небесных тел. Он приписывает движение планет их естественным свойствам, присущим космосу изначально. Поэтому и отрицает он влияние Луны и Солнца на приливы и отливы в морях. Здесь в представлениях Галилея мы находим отголоски аристотелевской системы. Отвергнутой, но все еще продолжающей влиять на умы! И до сих пор мы называем его в числе величайших физиков всех времен. Аристотель, Галилей, Ньютон и Эйнштейн. Это маяки на перекрестке бесконечностей, проложившие человеческой мысли путь в необозримые глубины времени и пространства.

Одной из главных задач Галилея было на опыте доказать справедливость коперниковской системы в земных условиях. Прежде всего нужно было разрешить основной вопрос: вращается Земля или нет. Рассматривая его, Галилей пришел к знаменитому принципу относительности, который в несколько уточненной форме вошел в основы современной механики. Релятивистский

принцип Галилея был для современников почти столь же парадоксальным, как и специальная теория относительности в начале нашего века. Недаром он во многом определил формулировку основных принципов теории Эйнштейна.

В «Послании к Инголи» и в «Диалоге» Галилей ставит мысленный эксперимент. Он предлагает читателю вообразить корабль. В закрытом помещении под палубой корабля прыгают люди, перебрасывающие из рук в руки различные предметы, плавают рыбки в банке, летают бабочки, струится дым и вода каплет в сосуд. Когда корабль неподвижно стоит в гавани, бабочки летают с одной и той же скоростью во все стороны, дым поднимается прямо вверх, капли одна за другой падают в подставленный сосуд. Но ведь картина не меняется, если корабль идет постоянным курсом, равномерно, без бортовой и килевой качки. Вот почему неугомонные люди в этой каюте никак не могут узнать, движется ли корабль равномерно или неподвижно стоит на якоре.

Примечательно, что галилеевский корабль движется не строго поступательно, как это предписывает современная трактовка релятивистского принципа, а по дуге окружности поверхности земного шара. Это обстоятельство, кстати, и позволило Галилею распространить свой принцип на все тела, движущиеся относительно Земли. Вопреки Аристотелю и схоластам, Галилей доказывал, что невозможно без наблюдения за светилами обнаружить вращение Земли, которое, между прочим, не ведет к катастрофам, предсказанным сторонниками идеи покоящейся планеты. Падение тел должно происходить строго по вертикали, а снаряды, выпущенные с одной и той же скоростью и под одним углом к горизонту, должны упасть на одинаковом расстоянии и на запад, и на восток.

Теперь мы знаем, что это верно лишь в первом приближении. Падающие тела на самом деле должны отклоняться к востоку и даже несколько к югу. Ракета, пущенная на восток, пролетает дальше, чем точно такая же, но летящая на запад. Однако пушки времен Галилея стреляли столь недалеко и так плохо, что заметить разницу в полетах их ядер на запад и на восток, конечно, было нельзя. Да и тело, даже брошенное с высоты знаменитой падающей башни в Пизе, отклоняется к вос-

току за счет вращения Земли всего лишь на миллиметр. Обнаружить это отклонение из-за возмущающего воздействия на полет тела воздуха трудно и в наше время.

Лишь при очень больших скоростях, сравнимых со скоростью света, например при движении частиц в ускорителях, а также при движениях невдалеке от больших тяготеющих масс, например Меркурия, расположенного на близком расстоянии от Солнца, классическая механика Галилея — Ньютона становится неточной и заменяется механикой Эйнштейна. Не следует, конечно, в еще несовершенных построениях Галилея, сопровождавшихся исключительными трудностями первых шагов науки, усматривать чуть ли не предвосхищение механики Эйнштейна с движением по инерции вдоль искривленного тяготением пространства. Галилей от этого был слишком далек и мерил время солнечными и водяными часами. Он нисколько не сомневался в строгой прямолинейности световых лучей, хотя именно при помощи телескопа уже в нашем двадцатом веке в полном согласии с общей теорией относительности было обнаружено их отклонение вблизи Солнца во время затмения. Галилей подозревал, что свет распространяется не мгновенно, и даже пытался измерить его скорость. Естественно, что при точности измерений, осуществимой в его время, он пришел к выводу, что свет распространяется практически мгновенно.

Галилей, первым открывший закон инерции и законы падения тяжелых тел, пытался доказать, что тела не могут покинуть Землю из-за вращения последней, даже если бы сила тяжести и производимое ею ускорение движения падающих тел были совсем ничтожны. А вместе с тем, произведи Галилей с большей тщательностью оценку бесконечно малых смещений тела из-за движения по касательной к поверхности Земли и из-за падения к ее центру, он получил бы величину первой космической скорости, при достижении которой тело отрывается от Земли и становится ее спутником.

Галилей открыл замечательный факт независимости периода колебания маятника (люстры собора) от размаха колебаний, пользуясь, кстати, вместо часов своим собственным пульсом. Не задумываясь, он распространяет это свойство маятника и на размахи чуть ли не до горизонтального положения нити, что приводит, однако,

к заметной погрешности. Но эти примеры ни в коем случае не наносят ущерба славе Галилея.

Правильное понимание общего случая механики относительного движения пришло в науку значительно позже Галилея и Ньютона и даже Лагранжа и Эйлера. Всего лишь немногим более века назад Кориолис рассчитал так называемое поворотное ускорение, которым собственно и объясняются все особенности движения тел на вращающейся Земле, в частности, подмыв правых берегов рек в северном полушарии и образование циклонов в атмосфере. Оказывается, что при расчете движения тел можно условно считать Землю неподвижной, если только наравне с силой тяготения к Земле, сопротивлением воздуха или иной среды считать, что к каждой частице тела приложена еще центробежная сила инерции, обусловленная вращением Земли, и кориолисова сила инерции. Последняя всегда перпендикулярна к относительной скорости частицы по отношению к Земле. Этим и объясняется, например, отклонение падающих тел от вертикали.

Трудности в понимании всех обстоятельств относительного движения сохранились и поныне и изредка служат источником непростительных заблуждений. Оправдываются замечательные слова Галилея, что многое в науке становится простым и ясным лишь после долгих и трудных первоначальных размышлений.

Именно так обстояло дело с исследованием явлений движения тел в земных условиях. Здесь много веков умами ученых владело заблуждение Аристотеля, считавшего, что скорость падения тел пропорциональна их весу. Галилей опровергает теорию Аристотеля логическим путем, применяя ее к случаю падения тел, связанных друг с другом веревкой. Тяжелое тело должно, по Аристотелю, стремиться падать скорее, а легкое медленнее. Очевидно, что тяжелое тело в своем движении будет тормозиться из-за наличия связи с легким телом и двигаться несколько медленнее. С другой стороны, оба тела вместе образуют единое тело суммарного веса и должны, по идее Аристотеля, падать быстрее, чем каждое из них в отдельности. Получается противоречие.

Однако Галилей не удовлетворяется одним этим рассуждением и проводит многочисленные эксперименты над падением тел по вертикали и по наклонным плоско-

стям. Он приходит к парадоксальному для того времени выводу, что все тела, если исключить сопротивление их движению со стороны воздуха, падают совершенно одинаково. Галилей обнаруживает, что при скольжении по наклонной плоскости с весьма малым трением тела достигают одной и той же скорости, зависящей не от наклона плоскости, а исключительно от высоты, с которой тело в конце концов опускается из состояния покоя. Этот результат Галилея превосхищает закон сохранения механической энергии и легко обобщается на случай движения тел без трения и, в частности, для маятника.

Используя водяные часы, Галилей показывает, что время, необходимое телу, чтобы спуститься на одну и ту же высоту, пропорционально длине плоскости. Далее он замечает, что последовательные равные расстояния проходятся в отрезки времени, пропорциональные ряду нечетных чисел, если, конечно, движение начинается из состояния покоя. Общее же расстояние оказывается пропорциональным квадрату всего времени падения тела.

Галилей выдвигает смелую гипотезу о том, что скорость падающих тел возрастает пропорционально времени, прошедшему с мгновения начала движения тела из состояния покоя. Пользуясь графическим изображением скорости как функции времени и подсчитывая на графике нужные площади, он производит, по существу, операцию интегрирования и теоретически определяет законы изменения расстояний, приходя в конце концов к тому, что уже обнаружил экспериментально.

Тем самым заканчивается обоснование новой теории падения тел, и Галилей обращается к решению многочисленных задач для выяснения разных обстоятельств падения тел по вертикали с последующим переходом, без потери скорости, на наклонную плоскость. Математические рассуждения и доказательства Галилей ведет в манере того времени, в форме пропорций Евклида.

Нам она непривычна и кажется крайне громоздкой и утомительной. Введение специальной символики, как правило, значительно упрощает и совершенствует математический аппарат на всех этапах его развития. К сожалению, к тому времени не была достаточно развита символика алгебры, позволяющая некоторые из резуль-

татов Галилея получить почти без всякого труда. Но Галилей широко применял также геометрические методы решения своих задач о движении тяжелых тел. В этом он был большой мастер, и многие его построения весьма изящны. Решение тех же задач аналитическим путем представляет и для нас трудности.

Галилей одним из первых постигает логику бесконечного. Его пример парадокса бесконечного вполне уместен в теории счетных множеств и в настоящее время. Очевидно, что квадратов целых чисел меньше, чем всех целых чисел вообще. Однако, с другой стороны, это не так, ибо все квадраты можно занумеровать и, следовательно, их столько же, сколько и целых чисел. Все дело здесь в том, как разъясняет Галилей, что к бесконечному нельзя относить слова «больше», «меньше» или «равно» в их обычном смысле.

Прыжок из Средневековья в двадцатый век

Чем ближе наше повествование подходит к новому времени, тем труднее становится сохранять хронологический порядок. Это и понятно. Наука перестает быть уделом гениальных одиночек. Она становится коллективным творчеством. Если в античной физике между двумя фундаментальными теориями лежит промежуток в десятки, а то и в сотни лет, то в более поздние времена одного исследователя от другого отделяют уже годы. В наш век в разных странах над одной и той же проблемой работают уже сотни физиков. Но дело, конечно, не только в этом. Усложняются и разветвляются и сами проблемы. Чтобы охватить хотя бы основные из них достаточно полно, приходится делать экскурсии не только в прошлое, но и в будущее.

Естественно, что многое приходится вообще опускать. Не без некоторого сожаления мы не расскажем ни о гениальном флорентийце Леонардо да Винчи, ни о замечательном астрономе Тихо де Браге, который ниспроверг систему Птолемея. Зато мы расскажем о Бернардине Телезии (1508—1588) — человеке, который не оказал никакого влияния на современное естествознание и не прославил свое имя значительными открытиями.

Телезий известен тем, что основал общество естествоиспытателей, телезианскую (или консентинскую) ака-

демию для борьбы с натурфилософией Аристотеля. В своих сочинениях он выдвинул идею единого первичного вещества и двух первичных форм, или бестелесных сущностей. Такими сущностями, по мысли Телезия, являются тепло и холод. Все тела образуются от действия этих двух начал на первичную материю. Так как небо по преимуществу является средоточием тепла, а земное ядро — холода, то на поверхности земли возникает небольшое число живых существ. Теплота неба неравномерна. Звездные области теплее беззвездных. Из-за такой неравномерности в распределении теплоты однообразное вначале движение планет становится неравномерным.

Нет, мы упомянули о теории Телезия не потому, что она затрагивает основные проблемы нашей темы. Сам по себе случай с Телезием интересен как пример неожиданного возвращения к методам и принципам, отвергнутым, казалось бы, навсегда. Вопреки всему ходу развития естественных наук, вопреки фактам вдруг кто-то пытается вернуться к затерянным истокам. Психологический смысл такой попытки исключительно интересен. Можно, конечно, сравнить учение Телезия с греческой натурфилософией и показать, насколько оно проигрывает от такого сопоставления. Сделать это нетрудно. Возьмем хотя бы теорию цвета. Происхождение цветов Телезий объясняет тоже своими стихиями. Тепло порождает белый цвет, холод — черный. Прочие цвета происходят, как у столь ненавистного Телезию Аристотеля, из смешения двух основных. Но ради такого сопоставления не стоило, явно не стоило тратить так много слов. Ну кому теперь интересен Телезий?

Здесь мы преследовали иную цель. Нас интересовал не столько Телезий, сколько события недавнего прошлого. Все, наверное, смотрели фильм «Обыкновенный фашизм». Там были философски исследованы основные аспекты жизни третьего рейха. Кроме одного. Там почти ничего не говорилось о нацистской науке. А ведь кроме расовой теории была еще и нацистская физика. Во времена Эйнштейна, Резерфорда, Бора существовала система мира, достойная тайных доктрин средневековья. Именно ее мы имели в виду, излагая телезианские принципы. Речь идет о так называемой «космологии Герби-гера» — официальном учении третьего рейха. Мы заим-

ствуем описание этой «космологии» из книги Пауэлса и Бержье «Утро магов».

Однажды летним утром 1925 года все ученые Германии и Австрии получили письмо:

«Выбор надо сделать сейчас, быть с нами или против нас. В то время как Гитлер очистит политику, Ганс Гербигер сметет лживые науки. Доктрина вечного льда будет знаком возрождения немецкого народа. Берегитесь! Вставайте в наши ряды, пока еще не слишком поздно!»

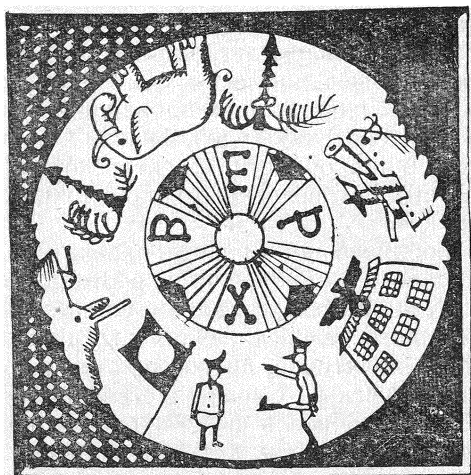
Человеку, который осмелился бросить вызов ученым, было шестьдесят пять лет. Его учение уже получило известность среди широкой публики под названием «ВЕЛ» (Вельтайслере: учение о вечном льде). Подобное объяснение космоса противоречило общепринятым астрономическим и математическим данным, но оправдывало древние мифы. Однако Гербигер считал себя ученым. И его наука должна была избрать другой путь и другие методы.

«Объективная наука есть изобретение вредное, она — тотем упадка». Он считал, как Гитлер, что «главный вопрос любой научной деятельности — знать, кто хочет знать». Только пророк может претендовать на науку, ибо он просветлен и вознесен таким образом на высшую ступень сознания. Ганс Гербигер не выносил ни малейшего сомнения, ни малейшего намека на противоречие. Его сотрясала священная ярость: «Вы доверяете уравнениям, а не мне! — бесновался он. — Сколько времени нам надо потратить на то, чтобы увериться в том, что математика — ложь, не имеющая никакой ценности?»

Гербигер криками и ударами пробивал себе путь. Он не был одиноким; он был только первым. Другой нацистский космолог утверждал, что мы живем на внутренней поверхности сферы. Гитлер и Гиммлер имели астролога, но не публиковали его предсказаний. Астролога звали Фюрер. Позже, после прихода к власти, они называли Фюрера «полномочным математики, астрономии и физики».

А пока в кругах интеллигенции Ганс Гербигер создавал систему, похожую на систему политических агитаторов.

У него были значительные денежные средства. Действовал он как вождь политической партии. Он создал движение с информационной службой, конторами набо-



ра, взносов, пропагандистов и бандитов, которых вербовал среди гитлеровской молодежи. Стены оклеивались афишами, газеты затапливались объявлениями, раздавались брошюры, организовывались собрания. Совещания и конференции астрономов срывались его сторонниками, оравшими: «Долой ортодоксальных ученых! Следуйте за Гербигером!» Профессоров преследовали на улицах. Директора научных институтов получали открытки: «Когда мы победим, вы и вам подобные будут попрошайничать на улицах». Деловые люди, промышленники, нанимая служащих, заставляли их подписывать такие заявления: «Клянусь верить в теорию вечного льда». Гербигер писал крупным инженерам: «Или вы научитесь верить в меня, или вас сочтут врагами».

За несколько лет это движение опубликовало три огромных тома с изложением учения, сорок популярных книг, сотни брошюр. Оно издавало ежемесячный журнал большим тиражом: «Ключ Мировых событий». Оно вербовало десятки тысяч сторонников. Оно сыграло значительную роль в истории идей и просто в истории.

Вначале ученые протестовали, публиковали письма и статьи с доказательствами абсурдности системы Гербигера. Они встревожились, когда ВЕЛ вырос до размеров широкого популярного движения. После прихода к вла-

сти Гитлера сопротивление этой теории стало все больше уменьшаться, хотя университеты по-прежнему преподавали ортодоксальную астрономию. Известные инженеры и ученые присоединялись к доктрине вечного льда. Среди них были Ленард, претендовавший на приоритет в открытии рентгеновских лучей, физики Оберт и Штарк, чьи исследования в области спектроскопии были всемирно известны. Гитлер открыто поддерживал Гербигера и верил в него.

«Наши нордические предки окрепли в снегах и льдах, — писалось в одной листовке ВЕЛа, — вот почему вера во всемирный лед является естественным наследием нордического человека. Один австриец Гитлер изгнал еврейских политиков, другой австриец Гербигер изгонит еврейских ученых. Своей собственной жизнью Фюрер доказал, что любитель выше профессионала. Нужен еще один любитель, чтобы дать нам полное понимание Мира».

Доктрина Гербигера черпала свою силу из единого видения истории и эволюции космоса. Она объясняла появление Солнечной системы, появление Земли, жизни и духа. Она описывала все прошлое мира и указывала на его будущие изменения. Она отвечала на три главных вопроса: «Кто мы? Откуда мы явились? Куда мы идем?».

Все основано на идее непрерывной борьбы в бесконечных пространствах между льдом и огнем, между силой отталкивания и силой притяжения. Эта борьба, это меняющееся напряжение между противостоящими принципами, эта вечная война в небе, являющаяся законом планет, правит также Землей и живой материей, определяя таким образом историю человечества. Гербигер претендует на описание самого далекого прошлого земного шара и его самого далекого будущего. Он вводит в эволюцию живых существ фантастические понятия. Он опрокидывает все, что мы обычно думаем об истории цивилизаций, появлении и развитии человека и общества. Он описывает серию подъемов и падений. Люди-боги, гиганты, сказочные цивилизации существовали тысячи, миллионы лет до нас. Тем, чем были наши предки, может быть, станем и мы, пройдя через катаклизмы и мутации в истории, развертывающейся циклами как на Земле, так и в космосе. Ибо законы неба те же, что и

законы Земли, и мир принимает участие в одном движении, ведь он — живой организм, в котором все отражается на всем. Судьба людей связана с судьбами звезд, все, что происходит в космосе, происходит на Земле, и наоборот.

Как видно из вышесказанного, эта доктрина циклов и квазимагических отношений между человеком и миром сходна с самыми древними традиционными мыслями. Она вновь вводит древние пророчества, мифы и легенды, оккультное учение об астрале и древнеиндийскую мистику, астрологию и демонологию.

Эта доктрина находится в противоречии со всеми данными науки. Но Гитлер говорил: «есть нордическая и национал-социалистическая наука, которая противостоит еврейско-либеральной науке». В письме к Вилли Лею Гербигер писал, как, будучи молодым инженером, «наблюдал однажды падение струи расплавленного металла на мокрую заснеженную землю: земля взорвалась с замедлением и большой силой». Это все. Из этого вырастает и колосится доктрина Гербигера.

В небе существовало огромное тело высокой температуры, оно было в миллионы раз больше нынешнего Солнца. Это тело столкнулось с гигантской планетой, появившейся в результате скопления космического льда. Эта масса льда проникла глубоко в недра суперсолнца. Сотни тысяч лет все оставалось по-прежнему. Потом пары воды взорвали все.

Осколки после взрыва были отброшены так далеко, что исчезли в ледяном пространстве. Другие упали обратно на центральное тело, где произошел взрыв.

А некоторые осколки были отброшены в среднюю зону: это планеты нашей системы. Их было тридцать. Это были ледяные блоки. Луна, Юпитер, Сатурн состоят из льда, а каналы Марса — ледяные трещины. Только Земля не полностью захвачена холодом: на ней продолжается борьба льда и огня.

На расстоянии втрое большем, чем до Нептуна, в момент взрыва находилось огромное ледяное кольцо. Оно сохранилось до сих пор. Официальные астрономы упорствуют, называют его Млечным Путем, потому что сквозь него просвечивает несколько звезд, похожих на наше Солнце. Фотография же отдельных звезд есть не что иное, как фальсификация.

Солнечные пятна, меняющие форму и месторасположение каждые одиннадцать лет, остаются необъяснимыми с точки зрения ортодоксальных ученых. Они происходят от падения ледяных осколков, отрывающихся от Юпитера. А Юпитер замыкает свое движение вокруг солнца каждые одиннадцать лет.

В средней зоне взрыва планеты нашей системы подчиняются двум силам:

- 1) исходной силе взрыва, которая их отталкивает;
- 2) гравитации, которая их притягивает к самой большой массе, находящейся по соседству.

Эти две силы не равны. Сила взрыва все время уменьшается, потому что пространство не является пустым: оно состоит из материи, другими словами, смеси водорода и паров воды. Кроме того, вода, которая достигает Солнца, наполняет пространство ледяными кристаллами. Так исходная сила все время уменьшается. Гравитационная сила же постоянна. Вот почему каждая планета сближается с соседней. Она приближается, вращаясь вокруг, вернее, описывая уменьшающуюся спираль. Так рано или поздно каждая планета упадет на ближайшую, и вся система ледяным сгустком рухнет на Солнце. Опять будет взрыв, и все начнется вновь.

Лед и огонь, отталкивание и притяжение вечно борются в Мире. Эта борьба определяет жизнь, смерть и бесконечное возрождение космоса.

Западногерманский писатель Элмар Брюгг издал в 1952 году труд, посвященный Гербигеру, где он писал:

«Ни одна из доктрин изображения Мира не пользовалась принципом противопоставления, борьбы двух противоположных сил, которыми питается душа человека вот уже много тысячелетий. Незабываемое достоинство Гербигера в том, что он возродил интуитивное знание наших предков о вечном конфликте огня и льда, воспетое Эддой. Он изложил этот конфликт нашим современникам. Он научно обосновал этот грандиозный образ Мира, связанного с дуализмом материи и силы: отталкивания, которое рассеивает, и притяжения, которое собирает».

Итак, Луна в конце концов упадет на Землю. Несколько десятков тысячелетий расстояние одной планеты от другой кажется неизменным. Но мы еще убедимся в том, что спираль сужается. За века Луна понемно-

гу приблизится. Усилится ее гравитационное воздействие на Землю. Тогда воды океанов поднимутся и в постоянном приливе покроют сушу, затопят тропики, окружив высочайшие горы. Живые существа ощутят постепенное уменьшение своего веса. Они вырастут. Космические лучи станут более мощными. Действуя на гены и хромосомы, они вызовут мутации. Появятся новые расы, животные, растения и люди-гиганты.

Потом, приблизившись, Луна взорвется от большой скорости вращения и станет гигантским кольцом из скал, льда, воды и газа, которое будет вращаться все быстрее и быстрее. Потом это кольцо обрушится на Землю, это будет Падение, объявленный Апокалипсис. Но если люди переживут это, то самым сильным, лучшим, избранным предназначено увидеть странные и ужасающие спектакли. И может быть конец мира.

После тысячелетий без спутников Земля увидит потрясающие наслоения древних и новых рас, новоявленные цивилизации гигантов и невероятные катаклизмы. В конце концов Марс, который меньше нашей планеты, приблизится к ней. Он достигнет орбиты Земли. Но он слишком велик, чтобы стать, как Луна, спутником. Он пройдет мимо Земли, коснется ее и рухнет на Солнце, притянутый им, поглощенный огнем. Наша атмосфера будет похищена Марсом и рассеется в пространстве. Океаны вскипят на поверхности Земли, смоят все, и земная кора лопнет. Наша мертвая планета столкнется в небе с ледяными планетоидами, станет гигантским ледяным шаром и тоже рухнет на Солнце. После столкновения будет великое молчание, великая неподвижность, а внутри пылающей массы миллионами лет будут накапливаться водяные пары. Наконец, произойдет новый взрыв яростных сил космоса.

Такова судьба нашей солнечной системы в видении австрийского инженера, которого национал-социалистические бонзы называли Коперником XX века.

Излишне комментировать этот наглый и страшный бред. Но забывать о нем тоже нельзя.

Упомянув о теории Телезия, мы отнюдь не хотели представить ее предшественницей гербигеровской «космологии». Да и вряд ли Гербигер что-либо знал о Телезии. И все же, слишком уж разительны аналогии. Будто и не было столетий, разделяющих оба учения. Та же

борьба противоположных начал: тепла и холода, то же маниакальное пренебрежение накопленными человеческим духовными ценностями. Но воинствующее невежество, соединенное с фанатизмом, в сущности всегда выливалось в сходные формы.

Автору приходилось беседовать с некоторыми зарубежными учеными. Иные из них, кстати, очень приятные и, само собой разумеется, высокозрудированные люди, то и дело подчеркивали, что политикой не интересуются. Хочется спросить их, что представляет собой «теория» Гербигера? Политика это или нет? Почему в ФРГ то и дело появляются книги, прославляющие этого нацистского «корифея»?

Вернемся, однако, к нашему повествованию.

Будь славен, Скептик!

XVI столетие, как мы видели, успело уже вполне овладеть древней наукой. Все, что не погибло безвозвратно, было разыскано и стало общедоступным благодаря переводам и пояснениям. Это, пожалуй, одна из отличительных черт века. Натурфилософия и математическая физика окончательно размежевались. Но собственно в физике, несмотря на появление революционной теории Коперника, существенных успехов еще не достигнуто.

Только XVII столетие выходит твердыми стопами на рубеж новой науки. Взяв на вооружение экспериментальный метод, оно готовится совершить невиданный прыжок.

Таким образом, новейшая, точнее, классическая физика начинается с Галилея.

Далее наш рассказ перестанет быть последовательным. Нельзя уже одновременно излагать историю атомизма, космогонии и пространственно-временных представлений. Единый исток разделяется на три самостоятельных русла, соединенных бесчисленными рукавами и протоками.

Большую роль в развитии естествознания сыграли Фрэнсис и Бэкон и Рене Декарт. Бэкон убедительно показал, что современные теории пренебрегают опытом. Человек должен стать хозяином природы, провозгласил

он. Но природу нельзя познать без опыта — самого ценного источника знаний. Конечно, философ не должен уподобляться эмпирику-муравью, но он не должен походить и на паука-рационалиста, ткующего философскую паутину только из собственного разума. Философу, по мнению Бэкона, нужно подражать пчеле, которая собирает дань на полях и лугах, чтобы потом изготовить из нее драгоценный мед.

Рене Декарт ключом к истинному знанию считает разум, умело нацеленный на исследование опять-таки данных опыта. Опыт, опыт и еще раз опыт. Это звучало как заклинание мрачных теней средневековья. Наука готовилась подняться на новую качественную ступень. Для этого был нужен опыт.

Природа Декарта сплошь заполнена материальными частичками. Правда, духовное начало ее не зависит от материального, но все же основное свойство материи — протяженность. Древние атомисты заблуждались. Пустого пространства не существует. Материальный мир находится в вечном движении, совершающемся в полном соответствии с законами механики. Отсюда и все протекающие в природе процессы можно свести к простому перемещению частиц в пространстве.

Но из идеи протяженности трудно естественным путем вывести необходимость движения. Поэтому Декарт, в отличие от Бэкона, выдвигает идею первоначального толчка, который привел в движение бесконечную непрерывную протяженность.

Барух Спиноза отверг дуализм Декарта. Природа сама есть бог. Она, по мнению Спинозы, ни в духовном начале, ни в творце совершенно не нуждается. Природа — это вечная субстанция в бесконечном пространстве. Она «причина самой себя» (*causa sui*). Это важнейшее свойство субстанции — самой быть причиной существования и сущности всех вещей. Мы встретим это свойство в одной из самых интересных гипотез двадцатого века — нелинейной теории поля Гейзенберга.

Величайшую заслугу философии XVII—XVIII веков Энгельс видел именно в том, что она, «начиная от Спинозы и кончая великими французскими материалистами, настойчиво пыталась объяснить мир из него самого, предоставив детальное оправдание этого естествознанию будущего».

Как мы знаем теперь, естествознание пошло именно по этому пути. Самые фундаментальные представления о строении материи и свойствах времени и пространства базируются на принципе «*natur causa sui*».

Первым исследователем, который всерьез обратился к идеям греческих атомистов, был французский философ-материалист Гассенди. Современник Галилея и Кеплера, он внимательно следил за успехами возрождающегося естествознания.

В своем капитальном труде о философии Эпикура Гассенди не только изложил древнюю атомистику, но и развил ее на основе накопленных за два тысячелетия фактов. Подобно Эпикуру, он считал важнейшим свойством атомов не только величину и форму, но и тяжесть, которую определял как «внутреннее стремление к движению», служащее источником всех изменений в природе. Интересно, что именно Гассенди впервые выдвигает идею о различных прерывистых дискретных ступенях строения материи. Споры вокруг этой проблемы не утихают и по сей день. Он же ввел и понятие молекулы — механического соединения группы атомов.

Разрабатывая учение греческих атомистов, Гассенди пришел к мысли, что при помощи атомной теории физические явления можно объяснить конкретным, даже банальным способом. Смесь воды и вина сравнивается им со смесью двух сортов песка, которые так перемешаны, что оба вида песчинок распределены между собой совершенно беспорядочно. Эти песчинки соответствуют атомам воды и вина в их беспорядочной смеси. Отсюда возникает идея, что агрегатные состояния материи также могут быть объяснены с помощью атомной теории.

Эти идеи получили широкое распространение. Для греков атом был только отвлеченным понятием, которое обозначало предел нашего познания мира в целом. Теперь же это понятие сделалось средством понимания происходящих в мире процессов. Это явилось колоссальным сдвигом в мышлении, который, в свою очередь, обеспечил быстрое развитие всего естествознания.

Англичанин Роберт Бойл (1627—1691) был физиком и химиком в самом современном понимании этих слов. Основным девизом его было «ничего со слов». В блестящей работе «Химик-скептик» Бойль обрушился на алхимиков и их методы. Он показал, что все достижения ал-

химии — не более чем случайность. Алхимики ничего не знают и не могут знать о природе вещей.

Важнейшие работы Бойля относятся к области теории газов. Им установлен закон, который вот уже сколько лет заучивают поколения школьников, о постоянстве при данной температуре произведения давления газа на его объем. В «Химике-скептике» Бойль впервые обосновывает такое понятие, как химический элемент, т. е. вещество, не поддающееся разложению никакими средствами. У древних греков понятие элемента было еще связано с основными явлениями природы: покоем, движением, землей, огнем и т. д. У Бойля это понятие строго материалистически связано только с химическим процессом. Исходя из химического взаимопревращения веществ, Бойль задался совершенно конкретным вопросом: из каких кирпичей можно построить все бесконечное многообразие однородных веществ? Вопрос этот до сих пор не снят с повестки дня. Бойль, как говорится, смотрел в корень. Он хотел найти те основные элементы, которые уже не могут быть превращены один в другой и из которых каким-то образом построен весь окружающий мир. Мы видим, что сама постановка задачи выросла из основной проблемы алхимии. Алхимия вслед за питавшими ее смутными идеями древней философии исходила, как мы знаем, из того, что все вещества могут быть сведены к одному, основному. Но все попытки алхимиков осуществить подобное превращение терпели крах. С помощью химических методов оно, очевидно, не достигалось. Отсюда напрашивался вывод, что материя, говоря современным языком, не единообразна на химическом уровне, а напротив, существуют вещества, которых никакие химические процессы не заставят взаимопревращаться.

Со времен Бойля известно, что существует некоторое количество основных, в химическом смысле, веществ, которым могут быть противопоставлены тысячи однородных, как мы говорим теперь, химических соединений. Количество одних только органических соединений давно уже перевалило за миллион. В общем, основных веществ гораздо меньше, чем соединений. И это прекрасно понимал Бойль: «Необходимо установить, на какие основные вещества может быть разложена материя с помощью химических средств, и каковы эти основ-

ные вещества». С элементами Демокрита — землей, водой, воздухом и огнем — химические элементы Бойля, как мы видим, ничего общего не имеют.

В отличие от Демокрита Бойль называл частички, из которых построена материя, не атомами, а корпускулами. Собственно, и современное понятие «атом» расходится с демокритовским. Атомы Демокрита — это скорее наши элементарные частицы. Но дело, конечно, не в терминологии, а в сущности. Бойль различал корпускулы первого и второго порядка. Первичные корпускулы — самые мельчайшие и невоспринимаемые. Они бескачественны, обладают разной формой и соединяются друг с другом посредством крючков и зазубринок; вторичные корпускулы — это основные составные части всех тел.

Отсюда у Бойля первичные и вторичные свойства вещей. Материи присущи только первичные, чисто механические свойства: форма, размеры, движение, покой и т. п. Все остальные, вторичные свойства, в отличие от первичных, субъективны. В булавке, утверждал Бойль, вы не найдете свойства боли, которую чувствуете при уколе. Булавка лишь обладает заостренной формой, а боль — результат воздействия формы на органы чувств. Такие качества, как цвет, запах, звук, также субъективного происхождения. В природе их не существует, они возникают лишь при воздействии первичных качеств на наши органы чувств. В субъективистских и чисто механистических взглядах Бойля есть, как мы видим, зародыши истины. Современная теория запаха или вкуса выявила связи между нашими восприятиями и строением тех или иных молекул. Но всего этого автор «Химика-скептика» знать, конечно, не мог. Его механистические взгляды легли в основу учения Локка о «первичных» и «вторичных» качествах материи.

Но там, где идеи Бойля вытекают из результатов эксперимента, он далеко опережает свое время. Недаром Энгельс сказал, что «Бойль делает из химии науку». Из обратно пропорциональной зависимости между объемом и давлением газа Бойль делает однозначный вывод: при увеличении давления расстояние между корпускулами уменьшается, поскольку число их в закрытом сосуде не меняется. И сразу же за этим еще один великолепный взлет мысли: различные агрегатные состояния

вещества зависят от плотности и связи между корпускулами.

Прослеживая развитие атомистики, мы неизбежно затронем механику Ньютона. Это имя часто будет упоминаться. Идет ли речь о гравитации, строении материи, массе или свете — везде Ньютон оставил немеркнущий след. Недаром на памятнике ему в Кембридже выбиты слова: «Разумом он превосходил род человеческий».

По сути, классическая физика — это физика Ньютона. Он открыл закон всемирного тяготения и три основных закона механики, создал теорию движения небесных тел и теорию цветов.

Специально посвященных атомистике работ у Ньютона нет. Но из его «Математических начал натуральной философии» и «Оптики» ясно видно, что атомистическое строение тел не вызывает у него сомнений.

В предисловии к «Началам» Ньютон следующим образом определяет конечную цель физики: «Вывести из начал механики и остальные явления природы». Последовательно осуществляя свою грандиозную программу, он исходит из атомного строения материи: «Опыт показывает, что многие тела тверды. Но твердость целого происходит от твердости частей его, поэтому мы по справедливости заключаем, что не только у тел, которые нашим чувствам представляются твердыми, но и у всех других неделимые частицы тверды». Ньютон далек здесь от мысли, что на определенном уровне дробимости материи, такие микросвойства, как «твердость», могут потерять всякий смысл. И в этом его механизм ближе к древней атомистике, чем к современным представлениям.

Новизна ньютоновских представлений о строении вещества заключается все же не в этом постулировании неких неделимых частичек.

Понятие массы — вот гениальный и, надо полагать, не подлежащий пересмотру вклад Ньютона в построение основ современной физики. Все материальные тела обладают собственной массой, а мельчайшие частички любого вещества строго одинаковы. Различия свойств разных тел Ньютон, вслед за Бойлем, приписывает состояниям, на которые сближаются частицы. Но частицы Ньютона ничего общего не имеют с корпускулами Бойля. Ньютон не снабжает их ни крючками, ни зазуб-

ринками. Его материальные частички наделены силами притяжения и отталкивания, присущими всем видимым телам во Вселенной.

Это не только новый скачок в развитии естествознания. Учение Ньютона о массе и силе положило конец метафизике вообще. Поэтому в строгом смысле слова «отцом физики» следовало бы считать именно Ньютона, разработавшего научные основы мироздания вместо фантастических домыслов и спекулятивных гипотез о строении мира.

Великий закон и конец натурфилософии

Если физиков атомистика Бойля и Ньютона в общем удовлетворяла, то химики предъявляли к ней серьезные претензии. Механическая атомистика не объясняла химических взаимодействий, тепловых процессов и других наблюдаемых явлений, с которыми химики сталкивались буквально ежедневно.

Как мы увидим далее, когда наука заходит в тупик, это значит, что она готовится к новому скачку. Либо явление получит совершенно новое объяснение, либо придется «придумать» нечто, обладающее такими свойствами, которые разрешают все противоречия теории.

Именно такой новый компонент и предложил немецкий врач Эрнст Шталь, чтобы разрешить противоречия химической атомистики. Он постулировал существование некоего невесомого вещества без цвета и запаха, которое назвал «флогистоном». Флогистон должен был соединять бойлевские корпускулы и осуществлять все химические превращения.

Процессы горения получили удивительно простое объяснение. Пламя, дым, обугливание, золообразование — все это лишь различные формы перехода флогистона из одного вещества в другое. По сути флогистон — это нематериальное начало горючести.

Теория флогистона буквально загромодила современников. Она была принята сразу и безоговорочно. В том, что флогистон действительно существует, никто не сомневался.

Когда появились первые убедительные факты, ставящие под сомнение теорию флогистона, ее самоотвержен-

но пытались спасти. Для объяснения многих наблюдаемых явлений пришлось придать флогистону даже свойство антигравитации. Это было уже явное противоречие с исходным постулатом. Ведь флогистону изначально приписывалось свойство невесомости.

Практика постепенно ниспровергала теорию. Первым опроверг теорию флогистона Михаил Васильевич Ломоносов. К сожалению, его труды долгое время оставались неизвестными для мировой науки. Достаточно сказать, что в истории физики Геллера (1889 г.) и Розенбергера (1882—1890) Ломоносов не упоминается вовсе, а один французский историк уделяет ему лишь несколько строк, которые сами по себе очень примечательны:

«Среди русских химиков, которые стали известными химиками, мы упомянем Михаила Ломоносова, которого не надо смешивать с поэтом того же имени».

Впрочем, не только на Западе, но и в самой России работы Ломоносова по физике и химии оставались в неизвестности или были забыты до самого недавнего времени. Не только в Британской энциклопедии или французском энциклопедическом словаре Ларусса не сказано о физико-химических исследованиях Ломоносова, но и в знаменитых дореволюционных энциклопедиях Брокгауза — Эфрона и Граната.

Ломоносов с исключительной широтой охватил в своих работах самые разные области физики. Он изучал агрегатные состояния, разработал термометрию, развил работы Франклина по электричеству.

До сих пор поражает точность, с которой Ломоносов измерил, к примеру, коэффициент расширения ряда газов. Сравнивая полученные им данные с современными, мы видим, что ошибка измерения не превышала 3%. Это значит, что для многих целей мы могли бы и сейчас с успехом пользоваться данными, полученными более двухсот лет назад!

С помощью построенного им рефрактора Ломоносов, наблюдая прохождение Венеры по диску Солнца, заметил деформацию и расплывчатость краев планеты, что привело его к заключению о существовании на Венере атмосферы. Но это открытие долгие годы оставалось неизвестным. В некоторых астрономических руководствах до сих пор пишут, что атмосфера на Венере была обнаружена лишь в 1882 году.

Мы не будем останавливаться здесь на весьма сложных причинах «трагизма (по выражению академика П. И. Вальдена) участи научных трудов Ломоносова, не оставивших видимых следов в физике и химии». Об этом достаточно подробно рассказано в книге П. Л. Капицы «Ломоносов, Франклин, Резерфорд, Ланжевен».

Самым крупным по своему значению достижением Ломоносова было экспериментальное доказательство «закона сохранения материи». В 1756 году он поставил классический опыт по нагреванию в запаянном сосуде свинцовых пластинок и показал, что хотя свинец при нагревании окисляется, общий вес сосуда остается неизменным. Опыт Ломоносова аналогичен знаменитому опыту, который независимо от русского исследователя, но 17 лет спустя, поставил Лавуазье.

«По широте охвата, — пишет П. Л. Капица, — трудно назвать другого ученого-современника Ломоносова с такими же разносторонними интересами и знаниями. Теоретические концепции Ломоносова в тех областях науки, где он непосредственно вел свои экспериментальные работы, — учение о теплоте, о состоянии вещества, химия — поражают тем, что они до деталей совпали с тем путем, по которому развивались эти области после Ломоносова и развиваются по сей день».

Ломоносов совершенно ясно представлял себе кинетическую природу тепла. Он связывал нагрев тела с увеличением поступательного и вращательного («коловратного») движения корпускул, что делало совершенно излишним предположение о существовании флогистона. Последовательно и логично развивая свои концепции, Ломоносов вплотную подошел к понятию абсолютного нуля. В § 26 размышлений «о теплоте и холоде» он писал «о высшей возможной степени холода, вызванной полным покоем частичек, прекращением всякого движения их». Это объяснение, с точки зрения классической термодинамики, не устарело и по сей день.

Как и Ньютон, Ломоносов исходил из качественного единства макро- и микромира. Его «нечувствительные частички», подобно любым телам, протяженны, обладают фигурой, или формой, но непроницаемы и не разделяются на меньшие части. В этом смысле его релятивизм не пошел дальше традиционных идей натурфилософии. Но и здесь Ломоносов высказывает догадку,

предвосхитившую идею атомного веса. «Нечувствительные частички» различны по массе! Частичкам этим органично присуще свойство движения: «Корпускулы в живых и мертвых животных двигаются, в растениях живых и мертвых двигаются, также в минералах или неорганических телах, — следовательно, во всем». Отсюда и причина всех качественных изменений в физике и химии — движение.

Атомистика Ломоносова заложила основы молекулярного учения. «Элемент (атом по Ломоносову) есть часть тела, не состоящая из каких-либо других меньших и отличающихся от него тел. Корпускула (молекула) есть собрание элементов, образующее одну малую массу».

В основе своей такая формулировка не противоречит и современному представлению об атомах и молекулах.

Работы Галилея, Лейбница, Ньютона, Декарта дали философам богатейший материал для обобщений. Развитие физики требовало удовлетворительного определения материи и присущих ей свойств. Если до сих пор материя была лишь термином, скрывающим нечто, то теперь требовалось четкое объяснение всего, что скрывалось под этим термином. Уже английский материалист XVII века Дж. Толанд, полемизируя с Декартом и Спинозой, показал, что сведение материи к протяжению, определение движения только как модуса материи не раскрывает ни действительного источника движения, ни поразительного разнообразия форм материи. Он предложил считать движение неотделимым от материи внутренним первичным свойством. «Материя по необходимости столько же активна, сколь и протяженна» — писал Толанд, гениально провидя диалектическое единство материи и движения. Но до идеи развития он так и не дошел, считая, что в природе ничего принципиально нового не возникает.

Тем не менее взгляды Толанда во многом определили эволюцию представления о пространстве, времени и движении. Так, у французских материалистов XVIII века движение тоже выступает непреложным свойством самой материи, служащей единственным источником движения. Гольбах писал, что «идея природы заключает в себе необходимым образом идею движения. Но,

спросят нас, откуда эта природа получает свое движение? Мы ответим, что от себя, ибо она есть великое целое, вне которого ничего не может существовать. Мы скажем, что движение — это способ существования, вытекающий необходимым образом из сущности материи, что материя движется благодаря собственной своей энергии, что ее движение происходит от присущих ей сил».

Будем помнить, что эти строки написаны в XVIII веке, когда за словами «материя» и «энергия» не стояли четкие определения и изящные формулы. Это теперь мы знаем, что неправомерно называть материей только те формы ее существования, которые обладают массой. Энергия — тоже материя. Недаром в формуле Эйнштейна, которую в наши дни знают почти все, масса и энергия связаны прямой и очень простой зависимостью. Да и само понятие «квант» подразумевает изначальное единство этих форм существования материи. Всего этого французские материалисты, конечно, не знали. Величайшей их заслугой был полный отказ от примата духа над материей. Свои умозрительные положения они старались увязать с данными естествознания. Дидро, например, писал: «Тело, по мнению некоторых философов, не одарено само по себе ни действием, ни силой. Это — ужасное заблуждение, стоящее в прямом противоречии со всякой физикой, со всякой химией».

Вряд ли, конечно, физика и химия XVIII века давали философу достаточно эмпирических фактов для такого утверждения. Но специфика естественных наук, непобедимая логика их развития могли подсказать такие слова.

Но вслед за Толандом французские материалисты понимали под движением простое перемещение в пространстве. Дидро, правда пошел несколько дальше Гольбаха, считавшего, что движение не более как усилие, с помощью которого тело изменяет или стремится изменить свое местоположение. Так, кроме внешнего, пространственного движения, Дидро упоминал и о внутреннем, скрытом, молекулярном напряжении тела. «Сила, действующая на молекулу, — писал он, — иссякнет; сила, присущая молекуле, не иссякнет; она неизменна, вечна». Отсюда Дидро выдвигает чисто релятивистскую идею об абсолютности движения и относительности по-

коя. С чисто философских позиций стартовая площадка для теории относительности была готова. Настала очередь физики.

Не только прошлое, но и школа будущего

После Лавуазье естествоиспытатели уже не расставались с весами. Количественное определение состава вещества позволило получить необходимые данные для экспериментального подтверждения атомизма. С натур-философией было покончено навсегда.

В 1797 году немецкий химик Рихтер открыл, что химические элементы вступают в химические соединения в строго определенных весовых соотношениях. В реакции водорода с кислородом оба газа должны находиться в отношении 1:8. Только в этом случае в результате химического превращения в реакционном объеме будет одна лишь вода.

Этот закон десять лет спустя Джон Дальтон возвел в основной принцип химии, связавший впоследствии ее с атомной теорией.

Дальтон точнее сформулировал закон и придал ему геометрический смысл. Если водород в реакции с кислородом образует воду, то это означает, что атомы элементов кислорода и водорода соединяются друг с другом и образуют, как говорят теперь, молекулу воды. Здесь как будто бы все настолько просто, что граничит с примитивом. Но какой ценой досталась эта простота! Ведь Дальтон впервые показал, что в химических реакциях между собой соединяются только целые порции вещества, а не какие угодно доли этих порций! Абстрактный атом обретал живую плоть. Он проявлял себя в макрорезультатах, которые можно было зарегистрировать весами.

Дальтон ввел в науку новое понятие — атомный вес элементов, которым вот уже более полутора веков физики и химики успешно пользуются и в теории, и на практике. Именно от атомного веса отталкивался потом Д. И. Менделеев в поисках периодического закона.

Учение об атомах, геометрически соединяющихся в молекулы, сформулированное Дальтоном в 1803 г., вско-

ре выросло в стройную научную доктрину. Уже в 1811 г. Авогадро смелым допущением заложил основы атомной теории в химии. Он предположил, что любые газы в одинаковых условиях содержат в равных объемах пространства равное число молекул. Это допущение не только оказалось необходимым при определении атомных весов, оно легло в основу атомной теории Дальтона. Ведь если известно, сколько атомов и молекул содержится в определенном объеме газа, можно узнать и о том, как построены отдельные молекулы. Без этого неизбежна ошибка, которую допустил впервые Дальтон, определив атомный вес кислорода равным 8. Он же исходил из предположения, что один атом одного элемента может соединиться только с одним атомом другого, как это имело место для водорода и хлора. Или, говоря иначе, Дальтон не предвидел существования молекул, построенных из нескольких атомов одного и того же элемента.

Таким образом, допущение Авогадро проложило дорогу количественному становлению отношений атомных масс. Абсолютного числа атомов или молекул для каждого отдельного случая тогда еще не знали, но это и не мешало определять отношения молекулярных масс. Естественно, что ему пришлось задуматься о силах, связывающих атомы и молекулы, и он ввел понятие об удерживающих атомы валентных силах. Размышляя о природе валентных сил, он сделал гениальный вывод, что она электрическая.

Итак, в начале прошлого века об атомах было известно уже немало. Но о размерах атомов, их количестве в единице вещества, как и во времена Демокрита, можно было только гадать. Атом все еще мог быть таким же большим, как пылинка, танцующая в солнечном луче, или неизмеримо меньшим, чем крохотные живые тельца под микроскопом. Формы атомов, связывающие их силы также оставляли необозримые пространства для беспочвенных гаданий.

Еще было известно, что когда речь идет об атомах, то подразумеваются предельные по малости и неделимые с помощью химических методов частицы материи. Но могут ли такие химические атомы взаимопревращаться и претерпевать какие-либо изменения, этого не знал никто.

В 1815 г. Проут заявил, что атомы делимы. Он указал на то обстоятельство, что атомные веса элементов кратны, притом совершенно точно, атомному весу водорода. Отсюда вытекал неизбежный вывод, что все элементы построены из водорода, атомы которого являются «первыми и последними строительными камнями» Вселенной.

Новый этап атомистики начался с Майкла Фарадея, связавшего атомную теорию с электричеством. Химическая атомистика превращалась в физическую. Фарадей показал, что при электролизе определенное количество превращенного вещества всегда связано с определенным количеством электричества.

Далее Фарадей обнаружил, что массы веществ, превращение которых вызвано определенным количеством электричества, относятся друг к другу как «эквивалентные веса», а в простейшем случае одновалентных веществ — как атомные веса.

Этот поразительный вывод мог означать только одно: электричество, как и вещество, тоже обладает атомной структурой. Более того, выходило, что каждый атом или каждая молекула химического соединения связаны с одним или несколькими атомами электричества, хотя в то время трудно было сказать, как такая связь осуществляется.

Но в 1846 г. Вильгельм Вебер предположил, что с определенным количеством вещества всегда связано определенное количество электричества.

Следующий шаг атомной теории связан с созданием строгой математической теории газов. Клаузиус, а также Максвелл и Больцман блестяще обосновали законы, управляющие, казалось бы, беспорядочным роением газовых молекул.

1865 г. принес атомистике еще один великолепный успех. Состоялось, наконец, событие, которого человечество ожидало многие века. Лошмидт определил в самом первом приближении размеры атома, а отсюда и число молекул газа в единице объема.

Как и Роберт Майер, Лошмидт исследовал внутреннее трение в газе и получил в итоге отправную площадку для оценки величины атома. Атомы оказались несравненно меньше тех солнечных пылинок, с которыми сравнивал их Демокрит.

Честь открытия свободных атомов электричества, не связанных с атомами вещества, выпала Гитторфу, исследовавшему катодный эффект в разреженных газах. Он наблюдал отклонение катодных лучей в магнитных полях. Величина такого отклонения позволила вычислить отношение заряда к массе движущихся частиц. А поскольку благодаря Лошмидту были приближенно известны и величины атомов электричества, то найденное Гитторфом отношение вело к установлению массы свободного атома электричества. Теперь мы знаем, что эта масса примерно в 1840 раз меньше самого легкого атома — атома водорода. По предложению Стонея мы называем теперь свободные атомы электричества электронами.

Итак, история привела нас от демокритовских атомов к открытию первой элементарной частицы. На этом мы на время распростимся с прекрасной музой истории Клио и вплотную приблизимся к современным представлениям о мире и бесконечностях, на перекрестке которых мы стоим в данный момент.

Обвинение, предъявленное девятнадцатому веку

В 1875 г. один американский священник в разговоре с директором колледжа утверждал, что наука не может больше идти вперед, поскольку открыто все, что только можно было открыть. Он не был большим оригиналом, этот священник. Так думали в то время почти все. Даже знаменитые ученые, прославившиеся крупными открытиями в области, как тогда называли, индуктивных наук.

Но директор колледжа все же позволил себе не согласиться. — Через пятьдесят лет, — сказал он, — люди будут летать, как птицы.

Священник с гневом возразил:

— Летать могут только ангелы, и каждый, кто думает иначе, богохульник!

Банальная история, не правда ли? Такое могло произойти в любой стране. Но все дело в том, что священника звали Мильтим Райт. У него было два сына — Орвиль и Вильбур, которые через тридцать лет после спора в колледже поднялись в небо на самолете.

Таким образом, наша маленькая история превращается в своего рода модель обскурантизма девятнадцатого столетия, опровергнуть который довелось нашему веку.

В 1807 году к Наполеону явился механик Фультон, который предложил императору вооружить французский флот кораблями, приводимыми в движение паром.

— С боевыми кораблями, движимыми паром, вы уничтожите Англию! — с жаром закончил свои объяснения изобретатель.

Внимательно выслушав его, император ответил:

— Каждый день мне приносят проекты один вздорнее другого. Вчера только мне предложили атаковать английское побережье с помощью кавалерии, посаженной на ручных дельфинов. Подите прочь! Вы, очевидно, один из этих сумасшедших!

Через восемь лет английский линейный корабль «Беллерофон», отвозивший побежденного императора на остров Св. Елены, встретился в открытом море с американским пароходом «Фультон». На большой скорости пронесся он мимо английского судна.

Проводив глазами американский пароход, Наполеон грустно сказал своему спутнику Бертрану:

— Прогнав из Тюильри Фультона, я потерял свою корону!

Мы не знаем, как бы сложилась история, послушайся Наполеон американского изобретателя. Может быть, точно так же. Не в том суть. Интересно, что великий император ошибся не только насчет пароходов, но и, по-видимому, насчет дельфинов.

Но продолжим наш список обвинительных фактов.

В 1852 году Райхенбах описал превращение элементов через радиоактивность. Но был высмеян своими учеными коллегами, которые единодушно отвергли «этот вздор».

Граф Цеппелин предлагал американским южанам (симпатии немецкого юнкера понятны) свой дирижабль. Его тоже высмеяли. На то ведь были очень веские основания. Достаточно сказать, что «Французская академия наук не рассматривает заявки на три вещи: квадратуру круга, туннель под Ламаншем и управляемые воздушные шары».

Туннель под Ламаншем сейчас строится. Как обстоит дело с управляемыми воздушными шарами, знает каждый. Вообще воздухоплавателям в девятнадцатом веке особенно не везло. Герман Гасвиндт, к примеру, представил немецкому военному министру проект летательного аппарата тяжелее воздуха, движимого ракетами. Резолюция была такая: «Когда, наконец, вышвырнут эту зловещую птичку?»

Профессор Смитсоновского института Ланглей был изгнан с кафедры за проект летательного аппарата с двигателем внутреннего сгорания.

Зато профессор Симон Ньюкомб пользовался величайшим уважением во всем научном мире. Его часто цитировали. Еще бы! Ведь он математически доказал, что машина тяжелее воздуха невозможна.

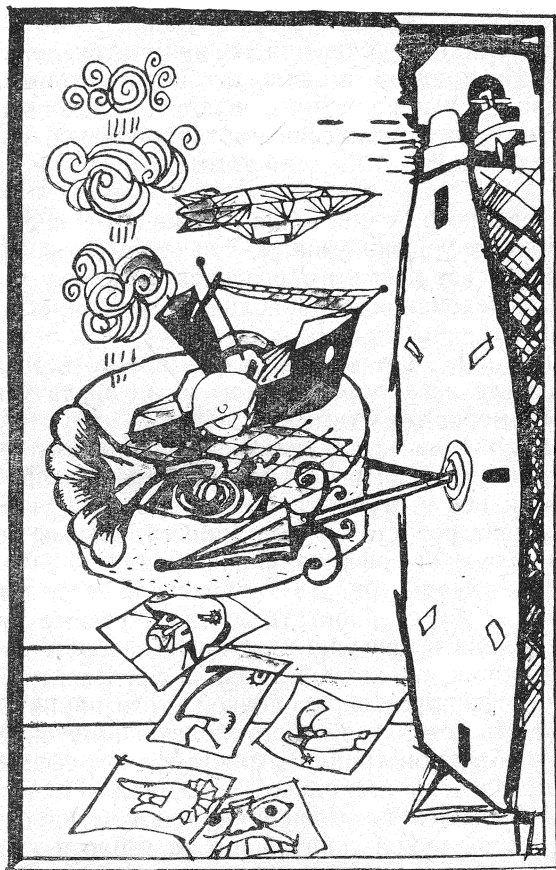
Но, пожалуй, довольно примеров. Дух прошлого столетия ясен и так. Посмотрим, как этот дух отразился на развитии теоретической физики.

Химик Марселин Бертело в 1887 г. провозгласил: «Отныне у Вселенной нет больше тайн». Ему вторил физик Клаузиус: «Вселенная заведена, как часы, раз и навсегда, когда кончится завод — все кончится. Что же касается пространства и времени — это концепции человеческого разума, в природе не существующие».

В самом конце века Эдуард Брэнли, говорят, не разрешил гувернантке читать детям Жюль Верна, чтобы не путать юные умы. Сам Брэнли в это время решил окончательно оставить опыты со звуковыми волнами как лишённые всякого интереса.

«Ученые, — пишет Жак Бержье, — готовились покинуть трон, но сперва они решили покончить с «авантюристами» — людьми, которые мыслят, мечтают и наделены воображением».

Бертело решительно атаковал философов: «Они фехтуют со своими призраками в пустынном поле абстрактной логики». Как это обвинение подходит к Альберту Эйнштейну! И как конец девятнадцатого века походит на послеаристотелевский период, когда наука тоже готова была остановиться и совершить самоубийство. Но познание подобно световому кванту. Родившись, оно должно нестись сквозь века. Остановка немыслима.



Мировоззрение, которое категорически отрицало все неизвестное, а тем самым и все новое тоже, накладывало роковой отпечаток на все аспекты науки и технологии. Конечно, есть доля случайности в том, что изобретатель меленита попал в тюрьму, а создатель двигателя внутреннего сгорания подвергался несправедливым нападкам. Но попытки доказать, что электрические машины — одна из форм вечного двигателя, — это уже дух эпохи. С одной стороны, безграничная вера в мощь и всеисилие человека. в абсолютную познаваемость и клас-

сическую простоту природы, с другой — самодовольство и отрицание всего, что неизвестно сегодня.

Мы отдаем дань уважения великим исследователям прошлого. Но вряд ли правильно говорить только о победах. Ошибки и поражения бывают тоже очень поучительны. Они учат критически смотреть вперед. Ошибки стоит знать хотя бы для того, чтобы не повторять их.

Слава великого Герца, например, не померкнет в глазах потомков, если они узнают, что открыватель радиоволн писал в свое время в Дрезденскую палату коммерции, что исследования радиоволн нужно запретить как бесполезные.

Будем, однако, объективны. Путь нового всегда тернист. И во все века дорога открытий не была усыпана розами. Примеров тому тьма.

Такова природа всего действительно нового — оно рождается в борьбе. Но борьба борьбе — рознь. И девятнадцатый век в этом отношении поистине уникален. На пути новаторов стояли тогда не отдельные консерваторы, а по сути вся официальная наука.

Эксперты Наполеона III доказали, что машина Грамма не будет работать. Видные ученые презрительно усмехались при упоминании об изобретении первого автомобиля, подводной лодки и др. Электролампку называли «мошеннической проделкой этого парня Эдисона». А вот что говорится в протоколах Парижской академии наук о демонстрации первого фонографа: «Едва машина произнесла несколько слов, как Постоянный секретарь бросился на мошенника, демонстрировавшего ее, железной рукой схватил его за горло и воскликнул: «Вы видите, господа, вот откуда эти звуки...» Но к изумлению присутствующих машина продолжала говорить».

Человек девятнадцатого века стоял на перекрестке бесконечностей, окруженный стеной, которую выдавали за конечную истину. Стены отгораживали его от будущего и от прошлого. Действительно, к ископаемым находкам многие ученые относились с насмешливым недоверием, поскольку Гельмгольц сказал, что Солнце излучает за счет сжатия и существует потому всего несколько сотен тысяч лет. О какой же эволюции материи тут может идти речь? И о каком прошлом?

Всемогущий эфир, о котором нам еще не раз придется говорить, глушил всякие новые идеи о материи и пространстве. В конце XIX века лорд Рэлей дал такую картину эфира: масса вращающихся, реагирующих друг с другом волчков.

Олдос Хаксли остроумно высмеял атавизм натурфилософии: «Если человеческая изобретательность способна дать идею абсолютного уродства, то это сделано лордом Рэлеем».

Считают, что ближе всех предшественников Эйнштейна к теории относительности подошел Пуанкаре. Даже если это так, то Пуанкаре не посмел совершить открытие. Его афоризм, что если бы Вселенная уменьшилась в миллион раз, наблюдатель этого бы не заметил, с удовольствием цитировали ученые мужи. Он был вполне во вкусе века. Правда, нашелся человек, который возразил прославленному математику, что произойди со Вселенной подобная метаморфоза, об этом первыми узнали бы мясники, так как мясные туши сорвались бы с крючков под собственной тяжестью. Но Пуанкаре был верен себе и своему веку: «Достаточно здравого смысла, чтобы доказать с очевидностью, что нельзя разрушить город при помощи фунта металла».

Что же, он не дожил до Хиросимы...

Нельзя, конечно, такую неосязаемую вещь, как дух времени, втиснуть в определенные хронологические рамки. Дух девятнадцатого века не исчез и в нашем столетии, а зародыш современной научной революции созрел в прошлом столетии.

Вот маленький эпизод, случившийся в 1912 году. Когда профессор Франк принимал кафедру физики в Пражском университете, декан сказал ему:

— Мы хотим от вас только одного — нормального поведения.

— Как? — удивился Франк, — неужели для физиков это такая редкость?

— Не хотите же вы сказать, что ваш предшественник был нормальным человеком? — возразил декан.

А предшественником нового профессора был Альберт Эйнштейн.

Рецидив девятнадцатого, очень нормального и благополучного века.

А науке тесны были рамки «нормальности». Она требовала радикальных идей. Она объявила войну очевидности, войну здравому смыслу. Но зародыши этого конфликта, как мы уже говорили, созрели именно в девятнадцатом веке. А потому мы кончаем здесь перечень обвинений и приступаем к защите.

Итак, небольшой рассказ о «безумцах», которые восстали против окружающей их «нормальности».

Бунт против очевидности

Первым в этом списке стоит Макс Планк. Очень показательно, между прочим, что когда Планк по окончании Мюнхенского университета сообщил профессору Джоли о своем решении заняться теоретической физикой, маститый мэтр сказал: «Молодой человек, зачем вы хотите погубить свою будущность? Ведь теоретическая физика закончена. Дифференциальные уравнения сформулированы; методы их решения разработаны. Можно вычислять отдельные частные случаи. Но стоит ли отдавать такому делу свою жизнь?»

К счастью, талантливым ученикам свойственно идти наперекор советам учителей. Человек, воспитанный на лучших традициях классической физики, вынашивал идею, которая взорвала эти традиции.

Абрам Федорович Иоффе писал: «За Планком навсегда закреплена в истории заслуга открытия квантов. Хотя Планк вызвал революцию в физике, но сам не был революционером. Он всячески старался как можно меньше отходить от положений классической физики. Он отрицал квантовую природу самой лучистой энергии и хотел свести все к скрытому в глубинах атома механизму испускания света. С трудом только согласился он затронуть акты поглощения. То обстоятельство, что теория Планка покоилась на новой гипотезе квантов, показал Эренфест; Планк же считал это выводом из классической теории».

Как известно, Планк пришел к своему открытию, исследуя спектры излучения нагретых тел. Наука его времени не могла дать однозначный ответ на вопрос, почему цвет излучения зависит только от температуры и совершенно не зависит от свойств нагреваемых тел. Все попытки математически описать излучение энергии

нагретого тела в пустое пространство успехов не имели. Зачастую уравнения приводили к выводам, противоречащим всему накопленному человечеством опыту. Это не могло не беспокоить. Классическая термодинамика и электродинамика, не знавшие до сих пор поражений, не сумели разрешить вроде бы простую проблему.

Планк тоже сначала подошел к загадке с традиционных позиций. Первые результаты выглядели поистине устрашающе. Выходило, что ультрафиолетовые и еще более коротковолновые лучи спектра так быстро уносили энергию в вакуум, что Вселенная должна была неизбежно охладиться до абсолютного нуля. Вселенную ожидала «ультрафиолетовая смерть».

Это настолько противоречило опыту, что физики порядком перепугались. Конечно, страшила их не «ультрафиолетовая смерть», а внезапно разверзшаяся бездна между опытом и теорией. Теоретический тупик был налицо.

Выход из этого тупика нашел Макс Планк. Потом, через много лет он скажет в своей Нобелевской речи: «После нескольких недель самой напряженной работы в моей жизни тьма, в которой я барахтался, озарилась молнией, и передо мной открылись неожиданные перспективы».

Описывая обмен энергией между нагретым телом и окружающим пространством, Планк предположил, что такой процесс может быть не непрерывным, а дискретным. Стоило ввести в теорию крохотную неделимую порцию энергии, как формулы удивительно упростились и, что самое главное, точно описали распределение энергии в спектрах.

Говорят, что Планк долгое время пребывал в тревожной растерянности от своего открытия. Может быть, он смутно предчувствовал грядущие потрясения, которое оно вызовет, или усомнился в мировой гармонии. Идея дискретности энергии подрывала основы классической физики. Классика могла теперь обрушиться в любой момент, прямо на глазах. Во всяком случае Планк не спешил с опубликованием своей работы. В разговорах с коллегами он как-то обмолвился, что либо полностью провалился, либо сделал открытие, равное по масштабам законам Ньютона.

Однажды Рубенс показал Планку свои прецизионные измерения распределения энергии в спектре черного тела. Результаты Рубенса удивительно точно совпадали с формулой Планка. Это положило конец сомнениям. Строгий классик Планк решился, наконец, подложить первую мину в фундамент классической физики. Такой миной был энергетический квант. Правда, в окончательной формуле он трансформировался в квант действия, то есть произведение энергии на время. И этого-то нельзя было понять. Если квант энергии еще скрепя сердце можно было принять, то дискретность механического действия казалась невероятной.

У великих идей тоже есть свое время релаксации. Их нужно пережить, свыкнуться, примириться с ними. Только тогда они дадут новые всходы. Поэтому-то наука ощутила первые последствия революционного открытия Планка не сразу, а лишь через несколько лет.

В 1905 г. Эйнштейн выдвинул теорию, согласно которой свет не только излучается и поглощается, но и состоит из неделимых квантов. Кванты света представляют собой частицы, которые движутся в вакууме со скоростью 300 000 километров в секунду. В двадцатые годы эти частицы получили название фотонов. Существование фотонов отнюдь не вытекает само по себе из представления Планка о дискретности излучения и поглощения. Эйнштейн разъяснил соотношение гипотезы фотонов и планковской теории остроумным сравнением: «Если пиво всегда продают в бутылках, содержащих пинту, отсюда вовсе не следует, что пиво состоит из неделимых частей, равных пинте».

Лучше, пожалуй, не скажешь! Филипп Франк развивает эйнштейновское сравнение. Для того чтобы проверить, состоит ли пиво в бочонке из неделимых частиц, он предлагает разлить его в несколько сосудов, допустим, в десять различных, но достаточно вместительных бутылок. Разливать при этом можно совершенно произвольно, предоставляя случаю определить, сколько попадет в тот или иной сосуд. Далее нужно измерить, сколько пива оказалось в каждой бутылке, и вылить его обратно в бочонок. Подобную, на первый взгляд совершенно бессмысленную операцию нужно повторить возможно большее число раз. Если пиво не состоит из неделимых частей, среднее количество его в каждой

бутылке будет одно и то же для всех сосудов. Если же оно состоит из неделимых частей, между сосудами появятся различия в среднем количестве пива. Как крайний случай можно представить себе, что бочонок вмещает только одну неделимую порцию. Тогда все пиво каждый раз будет оказываться вылитым лишь в один сосуд. Различие между сосудами в этом случае будет максимальным: в одном пиво, в остальных — пустота. Если бочонок состоит из двух, трех и так далее неделимых порций, отклонения от среднего значения будут становиться все меньше. Таким образом, по величине отклонения от среднего значения, т. е. по величине флуктуаций можно судить и о неделимой порции пива.

От пива легче перейти к электромагнитным волнам. Они тоже заполняют своего рода бочонок — ограниченный объем пространства, состоящий из отдельных клеток. Можно ли разделить энергию этих волн на сколько угодно большое число частей или мы все-таки придем к последней, неделимой порции. Кстати сказать, в отношении пространства и времени подобная проблема все еще ждет разрешения. Но сейчас нас интересует только электромагнитное поле. Точнее, если это излученное поле дискретно, то какова величина его наименьших порций?

Решить этот вопрос можно, измерив отклонения количества энергии в клетках от среднего значения — вариации этого количества при переходе от клетки к клетке. Если минимальные порции велики, то вариации тоже велики, и наоборот.

Измерения дают следующий результат. В заполняющем некоторый объем фиолетовом свете, характеризующемся более высокой частотой, мы обнаруживаем сравнительно большие вариации количеств энергии в клетках. В красном свете, с меньшей частотой колебаний, флуктуации количества энергии меньше.

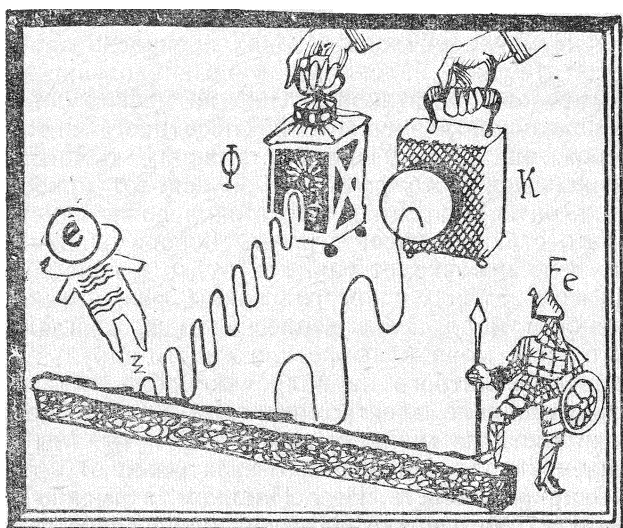
Отсюда позволительно заключить, что «пиво не только продается пинтовыми бутылками, но и состоит из пинтовых порций». Иначе говоря, Эйнштейн пришел к выводу, что свет не только поглощается и излучается неделимыми порциями, но и в промежутке между поглощением и излучением состоит из неделимых частиц. При этом фотоны несут тем большие энергии, чем выше

частота электромагнитных колебаний. Корпускулярная природа света может быть продемонстрирована рядом классических экспериментов. Особенно ярко на существование фотонов показывает фотоэлектрический эффект.

Герц и Столетов еще в прошлом веке детально исследовали это явление, связанное с выбиванием электронов под действием света. Но до Эйнштейна оставалось неясным, почему энергия выбиваемых электронов не зависит от яркости падающих лучей, а определяется только их цветом, т. е. частотой. Это в корне противоречило классической волновой теории света. Загадкой была и красная граница фотоэффекта. Кропотливые измерения показали, что для каждого вещества в солнечном спектре существует строго определенный частотный барьер. Лучи с частотой колебаний, меньшей «барьерного значения»; т. е. сдвинутой в красную сторону спектра, фотоэффекта не вызывают. Это особенно расходилось с положениями волновой теории. Классические представления заставляли скорее предполагать обратное — постепенное усиление воздействия света со временем. Иначе говоря, свет любой частоты должен был выбивать электроны. Разница заключалась лишь в яркости, интенсивности света. Яркость и время — вот единственные факторы эффекты. Но сколько ни облучали металлические пластинки монохроматическим светом, лежащим за красным барьером, эффекта не возникало.

Только квантовые представления Эйнштейна оказались способными объяснить фотоэффект.

Чтобы выбить электрон из металла, нужна определенная энергия. Это понимали и до Эйнштейна. Но только Эйнштейн показал, что каждому электрону соответствует поглощенный световой квант. Они взаимодействуют лицом к лицу, один на один. Энергия отдельного фотона определяется только частотой. Энергия «фиолетового» кванта естественно выше энергии «красного». Поэтому «фиолетовый» квант способен преодолеть силы, удерживающие электрон в металле, а «красный» порой погибает бесцельно. Все зависит лишь от степени «красности» или «фиолетовости». Вот почему и наблюдается красный барьер. Отвечающая барьеру энергия характеризует самую низшую порцию, которая может еще вырвать электрон с поверхности твердого тела.



Так же естественно объясняется и независимость энергии выбитого электрона от яркости облучения. Энергия электрона — это всего лишь разность первоначальной энергии выбившего его кванта и энергии, которую этот квант потратил на преодоление удерживающих электрон сил. А яркость света, как пишется в школьных учебниках, всего лишь количество фотонов, приходящихся в секунду на единицу поверхности. Количество, конечно, здесь непричем. Важно качество — энергия фотонов. Фотоны обрушиваются на вещество независимо друг от друга. Каждый побеждает или умирает в одиночку. Если энергии достаточно — электрон вылетает наружу, недостаточно — квант без видимых последствий поглощается веществом. Совместного усилия квантов ожидать не приходится. Они не могут наброситься на один электрон вдвоем или втроем. Понятно теперь, что не только яркость света, но и время облучения не влияют на энергию фотоэлектронов.

Теория фотоэффекта, несмотря на блестящее объяснение явления, отнюдь не показалась современникам Эйнштейна столь же ясной и сравнительно простой, какой мы видим ее теперь.

Не говоря уже о том, что новорожденная квантовая теория не могла объяснить таких прекрасно описанных волновой теорией явлений, как возникновение радужных разводов в нефтяной пленке на поверхности воды или предельной разрешающей способности оптических приборов, она была еще и странной, сумасшедшей. Действительно, фотоэффект не зависит от яркости облучения, он не зависит от расстояния до источника света. А это странно, очень странно. Говоря словами Крамерса, дело происходит так, как будто с корабля в воду прыгнул матрос, а энергия волны, разошедшейся по поверхности моря после всплеска воды, дошла бы до другого края моря и выбросила какого-нибудь другого купающегося матроса на палубу корабля.

Существование электромагнитных волн и волновая природа света не могут быть опровергнуты. Мы теперь это знаем твердо. Но нельзя отказаться и от корпускулярной природы света. Не с Планком, а именно с Эйнштейном вошла в науку противоречивая двойственность, изначально присущая природе. И естественно, что современники видели в этой двойственности не лик мироздания, а всего лишь необъяснимое противоречие.

Недаром в представлении, подписанном крупнейшими немецкими физиками и в том числе Планком, об избрании Эйнштейна в Прусскую академию наук говорилось:

«То, что он в своих рассуждениях иногда выходит за пределы цели, как, например, в своей гипотезе световых квантов, не следует слишком сильно ставить ему в упрек. Ибо, не решившись пойти на риск, нельзя осуществить истинно нового, даже в самом точном естествознании».

Эйнштейн же никогда не сомневался, что свет действительно обладает и волновыми, и корпускулярными свойствами. Он смело смотрел в глаза парадоксу, взрывающему и классическое представление о частицах, не обладающих волновыми свойствами, и классическое представление о колебаниях, которым никак не присуща корпускулярная природа.

Через два десятилетия Луи де Бройль, распространив представления Эйнштейна на все элементарные частицы вообще, построит волновую механику.

Эфир. Его величие и закат

Новое мировоззрение рождалось на обломках старых теорий. Отказ от эфира означал капитуляцию благополучной Вселенной, похожей несколько на сложный часовой механизм с его иерархией зубчатых колесиков. Но прежде чем рассказать о тех, чьи работы породили в идеальном веществе эфира смертельные трещины, поговорим немного о самом эфире.

Понятие эфира зародилось в то время, когда ученые попытались осмыслить природу света. Из девятнадцатого века перескочим в семнадцатый и проследим истоки идеи.

Автором первой эфирной теории света был голландский математик, астроном и физик Христиан Гюйгенс. Согласно его теории всякое светящееся тело, будь то свеча или Солнце, порождает волны, которые, распространяясь во все стороны, достигают глаз наблюдателя. К этому времени считалось уже установленным, что колебания твердых тел или даже атмосферы порождают звук. Колебания, вызванные звоном колокола, распространяются подобно кругам на воде. Зато, если ударить в колокол, находящийся в пустоте, т. е. в отсутствие среды, распространяющей колебания, звука не будет. То же происходит и со светом, говорил Гюйгенс. Однако голландский ученый понимал известную ограниченность и условность аналогии света со звуком. Ведь свет, в отличие от звука, отлично распространялся в вакууме, несмотря на отсутствие материальной среды, способной передавать световые колебания. Именно это обстоятельство и заставило Гюйгенса наполнить пустоту неким гипотетическим эфиром, способным передавать волны света.

Эфир означает по-гречески «воздух», «небо», «верхние сферы». Работники радио и телевидения до сих пор говорят, что готовят передачи для «вещания в эфир». Древнее слово оказалось счесь живучим. Натурфилософы, как мы знаем, с помощью эфира объясняли движение планет.

Ньютон посвятил работам над светом почти четыре десятилетия. В 1704 году он опубликовал знаменитую: «Оптику, или трактат об отражениях, преломлениях, изгибаниях и цветах света», где дал объяснение многим

оптическим явлениям. Они до сих пор не устарели и не устареют, видимо, никогда.

Будучи по убеждению атомистом, Ньютон вслед за древними натурфилософами считал, что свет состоит из мельчайших частиц, испускаемых источником: «Не являются ли лучи света очень малыми телами, испускаемыми светящимися веществами?» Частицы эти слишком малы, чтобы их можно было увидеть или измерить, но с их помощью удавалось объяснить многие световые явления: прямолинейное распространение света, отражение от плоскостей, преломление на границе двух сред и поглощение света.

Но, и это отлично сознавал сам Ньютон, корпускулярная теория не охватывала всех световых явлений. Прежде всего, она не объясняла интерференцию. Ньютон сам ввел понятие «эфирных волн» и высказал мнение, что для объяснения световых явлений требуются обе теории — корпускулярная и волновая. Как мы только что видели, предположение Ньютона блестяще и совсем на иной физической основе доказал Эйнштейн. И это не случайно. Ведь именно Эйнштейн построил после Ньютона новую систему мира.

Ньютон безоговорочно принял понятие эфира, считая идею воздействия одного тела на другое на расстоянии в вакууме абсурдной. Такую идею, по выражению Ньютона, не может принять ни один исследователь, «наделенный способностью к последовательному философскому мышлению».

Представление о свете как о волновом процессе в эфире отстаивали Ломоносов, Эйлер и с наибольшим успехом Томас Юнг, выдвинувший принцип интерференции.

Какова бы ни была его природа, эфир, по убеждению ученых, наполнял собой все пространство, пронизывал все вещество, проникая между всеми атомами. Однако признание самой идеи эфира не исключало споров о его природе. Его уподобляли твердому телу большой упругости, считали тонким и очень разреженным или меняющим свойства от случая к случаю, как сапожный вар.

Свойства света и в самом деле были таковы, что их нельзя было объяснить, не прибегая к среде, способной передавать волновое излучение на миллионы километ-

ров, не ослабляя его энергию. Но существует ли эта среда на самом деле? Не является ли она лишь физической фикцией, без содержания и формы, всего лишь как предположил лорд Солсбери, существительным от глагола «колебаться».

А если эфир все же существует, то покоится ли он неподвижно или находится в непрерывном движении? Или, может быть, правы такие ученые, как английский математик и физик Стокс, утверждающие, что Земля, вращаясь вокруг оси и вокруг Солнца, увлекает за собой эфир?

Среди сторонников покоящегося эфира был блестящий французский ученый Огюстен Френель.

Любопытно, что Френель родился в Брольи — имении герцогов де Бройль, предков создателя волновой механики.

В письме брату (6 июня 1814 г.) Френель писал, что испытывает «большой соблазн верить в колебания особой жидкости для передачи света и тепла». Это стало отправной точкой его работ в области мирового эфира. Вместе с Араго Френель предпринял попытку наблюдать интерференцию лучей во взаимно перпендикулярных плоскостях. Отрицательный результат привел его, как и Юнга, вскоре узнавшего об этом опыте, к гипотезе поперечности световых волн. Следует напомнить, что у поперечных волн колебания направлены под прямым углом к направлению распространения. Так распространяются волны на воде и волны, пробегающие по шнуру, когда его сильно дергают за один конец. Гипотеза поперечных световых волн была настолько революционна и требовала признания за эфиром таких странных свойств (сочетание малой плотности с твердостью, упругостью, несжимаемостью), что и сами авторы вводили ее крайне осторожно. Юнг сформулировал свои соображения с оговорками о реальности поперечных движений. Френель, поняв еще в 1816 г., что эти опыты «было бы легко объяснить, если бы колебательные движения поляризованных волн проходили только в плоскостях самих волн», лишь в 1821 г. окончательно заявил, что колебания естественного света являются поперечными.

Многие были склонны поддерживать представления Френеля о неподвижном эфире, потому что такой эфир представлял собой идеальную систему отсчета. Относи-

тельно него можно было регистрировать абсолютное движение в отличие от относительного движения. Термин «абсолютный» означал качество, остающееся фактом, безотносительно к положению наблюдателя во Вселенной. Абсолютна ли скорость света? Одинакова ли она для любого наблюдателя, независима или, напротив, зависима от движения источника света?

Это были вопросы, ответом на которые явилась в конце концов специальная теория относительности; это была проблема космического масштаба, из которой вытекали выводы исключительной важности.

Вот что писал Джеймс Клерк Максвелл в статье об эфире для девятого издания Британской энциклопедии: «Если бы можно было измерить скорость света во времени, которое ему требуется, чтобы пройти расстояние между двумя точками на поверхности земли, а потом полученные данные сравнить со скоростью света в обратном направлении, то мы смогли бы определить скорость движения эфира относительно этих двух точек».

В письме, опубликованном в журнале «Нэйчур» незадолго до смерти, Максвелл считал, что человечеству вряд ли удастся найти ответ на этот вопрос.

Авторитет Максвелла стоял очень высоко. А. Ф. Иоффе в своей книге «Встречи с физиками» вспоминает такой факт: «В 1911 г., когда я разрабатывал кинетическую теорию лучистой энергии, построенной на идее фотонов, я познакомился с Планком. Легко понять, как близка мне стала идея фотонов, осуществлявших мою мечту о свете без эфира. Так, по крайней мере, казалось в то время. Рассматривая условия равновесия фотонов в изолированном сосуде, я смог вывести закон Больцмана и закон смещения Вина. Что же касается спектральной формулы Планка, то она получилась лишь в предположении, что число одинаковых фотонов в элементарной статистической ячейке неограниченно.

Раньше чем посылать такую, по тем временам еретическую, теорию в печать, я хотел рассказать о ней лучшему авторитету — Планку... Статью он нашел интересной, но всячески убеждал меня отказаться от пользования фотонами, не совместимыми с электромагнитной теорией света Максвелла. «Мы так многим обязаны Максвеллу, что было бы неблагодарным отказаться от его теории. Попробуйте, нельзя ли добиться таких же выво-

дов, не порывая с Максвеллом. Все, что можно сохранить из его теории, следует оставить».

Теория Максвелла в самом деле была исключительно изящна. Мы до сих пор пользуемся его уравнениями и видим в них блистательный образец научной строгости, завершенности и простоты. Как показало развитие физики, обойтись без фотонов было нельзя. Но Планк во многом был прав. Он показал прекрасный пример истинно научного консерватизма, который столь же необходим, как и самые безумные идеи. Сначала нужно во что бы то ни стало попробовать получить необходимые выводы в рамках старой теории, а уж потом ломать ее. Иначе исчезнет фундамент, преемственность, и науке грозит превращение в бесплодное прожектерство.

Мы говорили об уравнениях Максвелла. В своей теории Максвелл объединил электричество и магнетизм в единое электромагнитное поле, распространив это понятие на видимый свет и невидимые ультрафиолетовые и инфракрасные части спектра. До сих пор специалисты поражаются этому грандиозному обобщению. Все знания об электричестве и магнетизме, накопленные человечеством еще со времен Фалеса, оказались зашифрованными в четырех коротких уравнениях. И дело не в том, что свет оказался волновым процессом, способным распространяться в пустоте. К этому человеческое восприятие уже подготовил Френель. Самое удивительное заключалось в способности этих электромагнитных волн существовать вне всякой видимой связи с источником, как бы самим по себе. Окружающее пространство наполнилось какой-то реальной, но невидимой сущностью. Дыханием странности повеяло вдруг от абстрактных математических выкладок.

Кроме того, налицо был и прямой вызов традиции. Впервые фундаментальная теория так резко порывала с механическим движением. Живи Бор во времена Максвелла, он бы признал его теорию вполне безумной.

Важно, что в теории Максвелла были все те необходимые элементы, которые мы и сегодня встречаем в самых смелых и самых общих попытках описать мир.

Естественно, что математические величины, описывающие поле, трудно было вылить в какие-то наглядные и привычные образы. Они были столь же абстрактны для

того времени, как абстрактна сегодня волновая функция.

Не удивительно поэтому, что даже в начале нашего столетия, а теория Максвелла была разработана в 1860—1875 годах, математические абстракции теории электромагнитного поля восприняли лишь физики с резко нетрадиционным мышлением. Максвелловские уравнения, как и следовало ожидать, не только описывали известный круг явлений, но и предсказывали существование новых, еще не открытых.

Теория рождается обобщением, потом бурно расширяется до границ своей применимости и вскрывает, наконец, явления, которые не может объяснить сама. Обобщение этих явлений порождает новую теорию, включающую исходные концепции как частный случай. Таков путь развития естествознания. Повторим еще раз, что наука не зачеркивает самое себя, как думали раньше и как пишут некоторые еще сейчас. Грубо говоря, она подобна шарам, вложенным один в другой. Меньший шар не исчезает в большем. Он и становится его плотью и сам продолжает существовать. Наши теории все больше окрашены светом абсолютной истины. Развитие науки лишь уточнит их, яснее очертит круг охватываемых ими явлений. Эйнштейн не опроверг Ньютона. Классическая механика целиком вошла в механику релятивистскую. Но ... как частный случай.

Уравнения Максвелла позволили предсказать такие неизвестные тогда явления, как радиоволны, или электрическая индукция. Но Максвелл не опроверг существование эфира. Это мог сделать только опыт, о котором, как мы уже знаем, писал Максвелл. И все же математическая строгость уравнений была столь убедительна, что некоторые стали понимать под эфиром лишь некую форму пустоты. Что же касается физиков, целиком находящихся в плену традиций, то они пытались облечь максвелловские абстракции в привычные механические модели. Одни стали называть электромагнитное поле особым натяжением эфира, другие, закрыв глаза на противоречивость постулируемых у эфира свойств, стали считать его «невесомой субстанцией», которая в принципе не может быть обнаружена.

Сам Максвелл, кстати, тоже не ощутил до конца великолепия своей теории, которая провела резкий рубеж

между новой физикой и механицизмом. В этом он похож на многих великих преобразователей естествознания. Планк, как мы видели, считал квантовые идеи Эйнштейна досадным, но, впрочем, простительным радикализмом. Да и сам Эйнштейн по духу был более классиком, чем это принято думать. Все это вполне естественно и легко объяснимо. Конечно, история знала и таких ученых, которые, сказав новое слово, готовы были сжечь за собой все мосты. Мы увидим далее, как открытия радиоактивности или аннигиляции вызовут попытки отказаться от законов сохранения. В общем, стоит помнить прелестный афоризм Ежи Леца: «Прыгая от радости, смотри, чтобы из-под тебя не украли Землю».

Максвелл неоднократно пытался найти для своих абстракций механические модели. Так, он придумал шестиугольные «молекулярные вихри», приводимые в движение «направляющими колесиками», или заменил силовые трубки Фарадея на более наглядные образы силовых линий. По этим силовым линиям мы все еще учим школьников пониманию электричества и магнетизма.

И если сам Максвелл не сразу понял, что созданная им наука не нуждается в механических опорах, то его современники и подавно должны были проявлять скептицизм и приверженность традициям. Схватка с традициями — это первое, что предстоит пережить новой идее, прежде чем она утвердится в умах.

Генриха Антона Лоренца называли «отцом теоретической физики». Как-то Лоренц, не поняв физического смысла теории Максвелла, обратился к переводчику английского физика — одному французскому исследователю. Тот только рукой махнул. Для него теория электромагнитного поля была чистой математикой, лишенной всякого физического содержания. Но постепенно это поле сделалось для Лоренца столь же реальным, как и все окружающее. Ему не нужны были ни максвелловские колесики и пружинки, ни эластичные трубки Фарадея. Он все свое внимание направил на источник поля — электрический заряд. Так было положено начало электронной теории. Именно Лоренц ввел в максвелловскую теорию атом электричества — электрон, обогатив ее идеями атомистики. Это уже впоследствии опыты Томсона обнаружили реальность электрона, появилась ста-

тика электронов в металле, удивительно напоминающая поведение молекул в газе, и, наконец, эффект Зеемана наглядно выявил присутствие электронов в атоме. Но теоретически электроны были постулированы Лоренцем. Для него они были столь же реальными, как электромагнитные поля.

Эти электроны рассеяны в бесконечном океане электромагнитных полей, а из сочетаний зарядов построены все окружающие нас вещи и мы сами. Что такое поля? Всего лишь натяжения эфира вокруг зарядов. Эти натяжения пронизывают все и вся. Они неосязаемы, но подчиняются уравнениям Максвелла. И в этом единственная реальность эфира. Да и зачем нам эфир сам по себе, когда все многообразие мира происходит от взаимодействия полей и зарядов.

«В предлагаемой мною гипотезе, — писал в 1895 году Лоренц, — имеется в некотором смысле возврат к старой теории электричества».

Это не только очевидно, но и вполне закономерно. Это возврат к старому, но на новой качественной основе, это — непобедимая диалектика познания. Далее мы увидим, как наука вновь возвратится к электрической теории, освободив теорию Лоренца от эфира и его таинственных натяжений.

Теория Лоренца позволила вычислить, к примеру, показатели преломления прозрачных веществ, что сильно продвинуло вперед многие разделы физической химии. Вообще она обогатила науку во многих областях, где максвелловская теория должна была обращаться непосредственно к опыту. Эффект Зеемана тоже прямо вытекал из новой теории. Лоренц предсказал, что под действием магнитного поля будет иметь место расщепление атомных спектров. Получил естественное объяснение и любопытный опыт Физо, который вот уже несколько десятилетий продолжал беспокоить теоретиков.

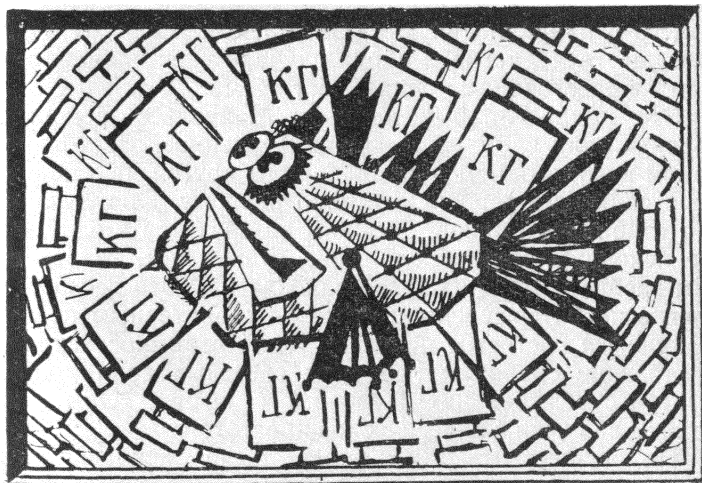
В 1851 году Физо попытался выяснить, влияет ли движущийся водный поток на скорость света. Для опыта он использовал явление интерференции. Он пустил по параллельным трубкам, в которые с большой скоростью нагнеталась вода, два световых пучка. В одной трубке свет шел по направлению движения воды, в другой навстречу ему. Получилось, что по течению свет шел

быстрее, чем против течения. Лоренц был первым, кто дал объяснение этому загадочному парадоксу.

Вспомним письмо Максвелла, в котором он изложил идею эксперимента, могущего обнаружить эфир. Известно, читал ли это письмо Альберт Майкельсон, но такой опыт стал для него навязчивой идеей.

Говорят, что отправным пунктом для него была мысль, брошенная как-то сэром Оливером Лоджем, который снискал себе одинаковую известность как исследованиями в области естествознания, так и работами на ниве спиритизма и прочих оккультных наук. Лодж писал, что «глубоководная рыба, по всей вероятности, не подозревает о существовании воды, ибо она окружена ею одинаково со всех сторон; таково же наше положение в отношении эфира».

Можно допустить, конечно, что неподвижный эфир материален и незримо для нас пронизывает все сущее. Но находящийся на земной поверхности наблюдатель должен почувствовать пресловутый «эфирный ветер». Ведь Земля несется в пространстве, обращаясь вокруг Солнца, с огромной скоростью. Эфирный океан должен в какой-то мере тормозить свет, следовательно, вооруженная достаточно чувствительным прибором рыба



должна это зарегистрировать. Ведь любому плавающему существу сознательно или бессознательно известно, что легче переплыть движущийся поток поперек и вернуться назад, нежели проплыть то же расстояние вверх или вниз по течению и обратно.

Бернард Джефф приводит простой пример, которым Майкельсон иллюстрировал аналогию пловца с искателем «эфирного ветра». Два человека в спокойной воде гребут с одинаковой скоростью 1,5 м в секунду. Вода в реке, по которой они плывут, течет со скоростью 1,2 м в секунду. Ширина реки 27 м. Первый гребец проходит на лодке 27 м вниз по течению и затем возвращается к исходной точке. Когда он плывет по течению, скорость лодки 2,7 м в секунду, против течения — 0,3 м в секунду. На весь путь он затрачивает, следовательно $27/2,7 + 27/0,3 = 100$ секунд. Скорость передвижения второго гребца x легко найдем по правилу сложения скоростей (напомним, что лодка движется под прямым углом к течению реки): $x = \sqrt{1,5^2 - 1,2^2} = 0,9$ м в секунду. Значит, второй гребец переплывет реку за $27/0,9 = 30$ секунд, а к исходному пункту вернется за 60 секунд. Разница довольно значительная: 100 и 60

Эфир, таким образом, тоже должен меньше тормозить свет, пущенный под прямым углом к направлению движения Земли вокруг Солнца, в отличие от луча, летящего в направлении движения Земли. Если же эфира не существует, тогда в обоих случаях свет пройдет одно и то же расстояние за одинаковое время.

Это и определило идею опыта. Майкельсон решил направить один световой луч на определенное расстояние в каком-нибудь одном направлении, а другой на такое же расстояние, но перпендикулярно первому. Оба луча будут отправлены одновременно и возвратятся в одну и ту же исходную точку. Если эфир существует, то (вспомним гребцов) один из лучей запоздает. А это легко установить по интерференции света — характерным перемежающимся световым полосам. Итак, взаимное усилие и ослабление сдвинутых по фазе световых волн должно выдать существование неуловимого эфира. Опыт, как видите, задуман с классической простотой.

Но осуществить такой опыт было исключительно трудно. Ведь свет распространяется с колоссальной скоростью, а замедление, в случае существования эфира,

на ничтожном участке земной поверхности будет едва уловимым. Скорость света и скорость Земли почти несоизмеримы. Разница в 10 000 раз! Для такого эксперимента необходим прибор уникальной чувствительности. Ведь достаточно крошечной ошибки, чтобы утопить в ней результат. Но Майкельсона не остановили трудности.

Майкельсон немного изменил опыт Физо. Вместо двух параллельных световых пучков он взял один, раздвоив его с помощью полупрозрачного зеркала. Отражая часть светового пучка и пропуская сквозь себя остальной свет, зеркало превратило один луч в два противоположно направленных. Не вдаваясь в подробности, можно сказать, что на таком принципе основывался сконструированный Майкельсоном интерферометр. Полупрозрачное зеркало сначала расщепляло луч на два взаимно перпендикулярных, которые, в свою очередь, отразившись от расположенных на равных расстояниях зеркал, соединялись вновь.

Майкельсон впервые испытал интерферометр в берлинской лаборатории Германа Гельмгольца. Гельмгольц педантично рассмотрел все факторы, которые могли бы повлиять на результаты опыта. В частности, он считал, что колебания температуры могут явиться весьма серьезным препятствием. В письме Ньюкому Майкельсон писал: «Все же я позволю себе не согласиться. Я считаю, что аппарат надо окружить тающим льдом, и тем самым будет обеспечена практически постоянная температура».

Когда опыт дал отрицательный результат, Майкельсон был весьма удивлен. «Эфирный ветер» не оказывал никакого влияния на свет. «Гипотеза неподвижного эфира ошибочна», — писал Майкельсон в 1881 году в статье «Относительное движение Земли и светоносного эфира». Действительно, напрашивается вывод, что эфир, если он существует, не неподвижен относительно Земли.

Эрнст Мах тотчас же потребовал вообще отказаться от идеи эфира. Зато лорд Кельвин продолжал по-прежнему верить в эфир, а Лодж уточнил свою формулировку эфира: «Эфир — это непрерывно заполняющее пространство вещество, колебание которого обуславливает распространение света; это вещество может разделяться на положительное и отрицательное электричество, в своем

зихревом движении оно составляет материю, и именно с его непрерывностью, а не с разрывностью связано свойство восприятия всякого действия и реакции на него, присущие материи».

Между тем лорд Кельвин и лорд Рэлей обратились к Майкельсону с предложением проверить влияние движения среды на скорость света. По примеру Физо Майкельсон решил в качестве такой среды взять воду и вместе с Эдвардом Морли начал тщательно готовить опыт. Конечный результат опыта Майкельсона — Морли был опубликован в 1887 году. Джон Бернал назвал его «величайшим из всех отрицательных результатов в истории науки».

Хотя опыт, как говорится, поставил крест на неподвижном эфире, все же оставалась возможность, что «Земля увлекает за собой эфир, придавая ему почти ту же скорость, с какой движется сама, так что скорость движения эфира по отношению к поверхности Земли равна нулю или очень мала».

Через десять лет Майкельсон экспериментально проверил и эту гипотезу. Результат снова был отрицательным. Но чтобы окончательно похоронить эфир, нужна была теория относительности Эйнштейна. Пока же эксперимент Майкельсона — Морли завел физику в тупик.

В период 1893—1895 годов два крупнейших теоретика независимо друг от друга попытались спасти эфир.

Профессор дублинского Тринити колледжа Джордж Фитцджеральд дал блестящее и ошеломляющее объяснение отрицательному результату опыта Майкельсона — Морли. Он предположил, что размеры тел меняются с увеличением скорости их движения. Иными словами, тела, перемещающиеся в эфире, сжимаются в направлении движения. Многим теория Фитцджеральда казалась плодом больного воображения. И вряд ли кто из его современников догадывался, что некоторые ее выводы целиком войдут в новую физическую систему мира. Смешно полагать, что Фитцджеральд ради спасения эфира просто «выдумал» сверхсумасшедшую гипотезу. Физика, как мы видели, расставшись с натурфилософией, перестала заниматься выдумками. Фитцджеральд опирался на прочную основу максвелловской теории. Парадоксальные свойства высоких скоростей прямо вытекали из электромагнитных свойств света.

Тем не менее ультрарелятивистская гипотеза Фитцджеральда внесла в ортодоксальную физику настоящее смутение. Никто же никогда не видел, в конце концов, чтобы линейка из твердого вещества действительно уменьшилась в длину, как бы быстро она ни двигалась. Это противоречило и очевидному опыту, и, конечно, здравому смыслу. Правда, по Фитцджеральду такое сокращение нельзя обнаружить даже в принципе. Земля несется в эфире, и вместе с ней сокращаются все находящиеся на ней тела, в том числе парижский платиновый метр — эталон длины и интерферометр Майкельсона. Этим универсальным сокращением, собственно, и объясняется отрицательный результат опыта 1887 года. Но логика логикой, а тревога и безумие, внесенные Фитцджеральдом, оставались. Оппоненты приводили слова Джозайи Уилларда Гиббса: «Математик может говорить все, что ему вздумается, но физик должен сохранять хоть какую-то долю здравого смысла». Лишь немногие, но очень серьезные физики-теоретики действительно заинтересовались идеей сокращения.

Лоренц увидел в ней подтверждение существования эфира. Идея сокращения бросала вызов здравому смыслу, но ставила с головы на ноги представления об эфире. Эфир становился осязаемым, его можно было «пощупать» прибором. Ведь нулевой результат Майкельсона — это первый случай воздействия эфира на материальное тело. Эфир обнаруживал себя так, что нельзя было обнаружить движение тел сквозь него. Но он и постулировался как некая всепроникающая субстанция с уникальными свойствами. Не удивительно, что и воздействие такой субстанции на все без исключения тела было универсальным.

Лоренц построил стройную математическую теорию, из конечных уравнений которой вытекало, что одного сокращения для описания движущихся тел явно недостаточно. Приходилось вводить еще и особое время, зависящее от скорости. Это было уж совсем непостижимо. Впрочем полученный Лоренцем результат самому автору казался всего лишь хитроумным физическим «куштыком». Лоренц и не думал всерьез посягать на ньютоновское «абсолютное время».

Итак, Лоренц, как, впрочем, и Пуанкаре, остановился перед самой теорией относительности. Но он не сделал

и, вероятно, не мог сделать последнего шага. Гипотеза Фитцджеральда — Лоренца была, вне всякого сомнения, исключительно смелой. Она блестяще разрешала все противоречия, связанные с опытом Майкельсона — Морли. Но, и это нужно ясно себе представлять, она целиком вытекала из законов классической физики, опираясь на понятия абсолютного движения материальных частиц и возможных изменений в скорости света. Она произвела переворот в умах, вызвала бурю в учебном мире, но не смогла взорвать основ ньютоновской классики.

Лоренц пришел к релятивизму от традиционных основ, которые стали для него барьером. Это был философский барьер, которого великий ученый так и не сумел преодолеть. Впоследствии он говорил: «Сегодня, излагая электромагнитную теорию, я утверждаю, что движущийся по криволинейной орбите электрон излучает энергию, а завтра я в той же аудитории говорю, что электрон, вращаясь вокруг ядра, не теряет энергии. Где же истина, если о ней можно делать взаимно исключающие друг друга утверждения. Способны ли мы вообще узнать истину и имеет ли смысл заниматься наукой?»

Вот почему Лоренц, как нам кажется, и не смог бы извлечь из преобразований, носящих теперь его имя, драгоценный росток теории относительности. Диалектические противоречия, лежащие в основе явлений, казались ему неразрешимыми. Он глубоко переживал это. Последние годы его были отравлены скепсисом и отчаянием. В беседе с А. Ф. Иоффе он как-то сказал: «Я потерял уверенность, что моя научная работа вела к объективной истине, и я не знаю, зачем жил; жалею только, что не умер пять лет назад, когда мне еще все представлялось ясным».

А ураган неясности нарастал. Директор Кавендишской лаборатории экспериментальной физики в Кембридже Дж. Дж. Томсон обнаружил электрон и доказал электрическую природу вещества. Открытый супругами Кюри радий продемонстрировал всю гамму своих необычайных свойств. Физики выяснили, в частности, что самопроизвольно испускаемые им электроны движутся со скоростью, достигающей многих тысяч километров в секунду. Еще совсем недавно это казалось невероятным.

Молодой немецкий физик В. Кауфман экспериментально доказал, что масса такого сверхбыстрого электрона меняется со скоростью. Чем быстрее двигался электрон, тем больше была его масса.

Масса перестала быть постоянной величиной. Как и в предполагаемом эффекте Фитцджеральда, в опыте Кауфмана разваливался привычный устойчивый мир строгих и ясных закономерностей. Длина, масса, время — все становилось расплывчатым и зыбким:

Мир рвался в опытах Кюри
Атомной, лопнувшей бомбой
На электронные струи
Невоплощенной гекатомбой.

В этих строках Андрея Белого усматривали чуть ли не пророчество атомной бомбы. На самом деле поэт просто попытался дать образ рушащейся системы мира. В опытах физиков рвался мир, созданный Ньютоном. Он не мог устоять перед лавиной новых фактов. Окончательно разрушил и в то же время спас этот мир Эйнштейн.

2 ЧАСТЬ

КИРПИЧКИ МИРОЗДАНИЯ

Первый абориген микромира

Фрэнсис Бэкон как-то сказал: «Не существует совершенной красоты, которая не содержала бы в себе известную долю странности». В этом афоризме кроется глубочайший смысл. В течение многих лет странность омрачала одну из основных областей деятельности физиков — исследование природы вещества.

Когда теоретик сосредоточивал свое внимание на микромире, то перед ним открывалось море странности, беспорядочный набор элементарных частиц. Одни частицы казались вечными, другие постепенно разрушались, рождая новые, третьи вспыхивали подобно молнии и превращались в свет. И, казалось, невозможно было проследить взаимоотношения между частицами, выявить хоть какие-то, пусть самые простые, закономерности.

В наши дни картина немного прояснилась. Само слово «странность» стало полноправным физическим термином, своего рода паспортом частицы, и сквозь хаос взаимодействий, сквозь ливни неведомых распадов и звезды исчезновения стала проглядывать красота стройности и порядка.

«Когда я начинал заниматься физикой, — пишет академик И. Е. Тамм, — а это было около сорока пяти лет тому назад, всем казалось несомненным, что есть две и только две элементарные частицы, два кирпича мироздания, из которых построены все вещества, — электрон и протон».

В сущности для физики это был период предгрозового затишья. Действительно, уже на пороге XX века с большой достоверностью было установлено, что все бесконечное разнообразие окружающей нас природы, как мертвой, так и живой, представляет собой различные комбинации относительно небольшого числа основных элементов. Была установлена, казалось, раз и навсегда

правота гениальной идеи Демокрита. Самой маленькой частицей сложного вещества, состоящей из атомов одного или нескольких элементов, которая все еще сохраняет индивидуальные свойства этого вещества, считалась молекула. При делении молекула распадается на составляющие ее атомы, и свойства первоначального вещества бесследно исчезают.

Химики изошрялись в сложности реакций, но, в лучшем случае, им удавалось выделить лишь чистые химические элементы. И идея алхимиков о превращении элементов друг в друга никогда еще не казалась столь еретичной, как в то время. Это был период, когда мало кто сомневался в том, что кирпичиками мироздания являются атомы. Мысль же о том, зачем природе нужно такое солидное количество разнокалиберных кирпичиков — от маленького водорода и до большого урана, — никого особенно не волновала.

Развитие науки об электричестве привело к появлению идеи «зернистости», а потом и к открытию Дж. Томсоном в 1897 г. электрона. Электрон явился первой открытой физиками элементарной частицей. Но сила инерции была настолько велика, а авторитет неделимого атома так высок, что электрон чаще именовали «атомом электричества». Вскоре удалось определить массу электрона. Он «весил» исчезающе мало, всего $9,106 \cdot 10^{-28}$ г, и оказался в 1836 раз легче самого легкого из атомов — водорода. Многократные и точные измерения, проведенные американским физиком Робертом Милликеном, показали, что электрон обладает и наименьшим из известных электрических зарядов. В настоящее время принята величина заряда электрона $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$ кулона.

В своей нобелевской речи Милликен высказал парадоксальную, странную и вместе с тем до сих пор не устаревшую истину:

«Я прошу вас выслушать ответ экспериментатора на основной и часто предлагаемый вопрос: что такое электричество? Ответ этот наивен, но вместе с тем прост и определен. Экспериментатор констатирует прежде всего, что о последней сущности электричества он не знает ничего». Это высказывание напоминает пророческую мысль физика-теоретика Германа Вейля: «различие между обоими видами электричества представляет собою еще более глубокую загадку природы, нежели

различие между прошлым и будущим». Альберту Эйнштейну удалось показать известную относительность различия между прошлым и будущим, что же касается электричества, то сегодня о его конечной сущности мы вряд ли сумеем сказать больше, чем Милликен.

Открытие электрона не поколебало идею о неделимости атома. По крайней мере, так казалось современникам Томсона. Хотя уже тогда определение атома несло в себе диалектические противоположности: неделимый, но все-таки сложный. Каким же рисовался тогда атом физикам? Прежде всего это сфера, или, точнее, сферическое облако, равномерно заряженное положительным электричеством. В облако вкраплены электроны. «Что-то вроде пудинга с изюмом», как однажды выразился Томсон, когда его спросили о строении атома. В целом атом нейтрален: сумма всех отрицательных зарядов электронов всегда равна величине положительного заряда сферы. При этом электроны, по мнению Томсона, должны быть расположены в атоме симметрично, но под влиянием внешних условий они могут смещаться в сторону, колебаться около равновесных положений. Лишь потеря атомом одного или нескольких электронов приводит к образованию положительного тока.

На первый взгляд, такое представление о строении атома должно было всех устраивать: и физиков, и химиков. Поэтому «пудинг с изюмом» мог бы долго оставаться неразрезанным. Несмотря на известную стройность, в атомной структуре Томсона было много неясности. Прежде всего, непонятно было, что представляет собой сам «пудинг», безэлектронная атомная сфера. Невольно напрашивалась мысль, что в атоме могут быть подобные электронам, но противоположно заряженные частицы.

В этом и заключена логика развития. Появление первой элементарной частицы вызвало к жизни другие. В сущности, первый шаг к открытию положительно заряженной «изюмины» был уже сделан незадолго до появления атома Томсона. Просто обеим теориям предстояло некоторое время развиваться параллельно, чтобы потом соединиться и предстать в новом качестве — теории атома Бора.

Французский физик Анри Беккерель, тщательно ознакомившись с работами Рентгена, пришел к убеждению, что флуоресценция стекла в рентгеновской трубке

является истинной причиной испускания икс-лучей. Отсюда легко было прийти к заключению, что и другие светящиеся тела тоже испускают различной интенсивности рентгеновские лучи.

Чтобы проверить правильность своих умозаключений, Беккерель в одном из опытов положил на фотографическую пластинку, тщательно завернутую в несколько слоев черной бумаги, флуоресцирующее вещество, которое под действием солнечного света давало особенно сильное свечение.

Эксперимент, по мнению Беккереля, должен был дать однозначный ответ. Если флуоресцирующее вещество под влиянием солнечной радиации испускает не только видимый свет, но и всепроникающие рентгеновские лучи, то эти лучи, пройдя сквозь черную бумагу, дадут о себе знать почернением этой пластинки. Если же таких лучей нет, то и пластинка останется незасвеченной. Одно из двух.

Результаты эксперимента превзошли все ожидания Беккереля. Не мог же он знать тогда, что во взятом им кусочке двойной сернокислой соли урана и калия спит зародыш, которому предстоит дать жизнь атомной бомбе, атомоходу, атомной электростанции!

Проявив пластинку, Беккерель обнаружил на ней четкий отпечаток урановой соли.

Говорят, что если бы в то время была хорошая погода, то атомный век не родился бы. Вряд ли с этим можно согласиться. Прогресс науки мало зависит от случайностей, да и многие великие открытия не так уж случайны, как это пишут о них современники и потомки. Но как бы то ни было, а солнце все реже заглядывало в окна лаборатории Беккереля. В ожидании того дня, когда естественный источник возбуждающего флуоресценцию излучения, наконец, выйдет из-за плотной завесы туч, Беккерель спрятал завернутую в бумагу пластинку и крупинку соли на ней в ящик письменного стола. Трудно сказать, что побудило Беккереля проявить эту пластинку. Может быть, случайность? Или подсознательный инстинкт исследователя?

На проявленной пластинке оказалось не только ясное изображение урановой соли, но и монеты, лежащей между черной бумагой и этой солью. Несмотря на то, что ни о какой флуоресценции урана, лежащего в тем-

ном ящике стола, не могло быть и речи, резкость изображения была выше, чем в первых опытах.

Урановая соль независимо от того, флуоресцирует она или нет под действием солнечных лучей, испускала невидимые всепроникающие лучи. Этот вывод был сделан 26 февраля 1896 года.

Нас интересуют вехи субатомных открытий, творцы новых элементарных частиц, даты рождения кирпичей мироздания. Но на первых этапах история проникновения в атомное ядро неотделима от истории атома. Логика ведет нас к Эрнесту Резерфорду.

Природа не любит повторяться

После открытия различных источников естественной радиоактивности встал вопрос о природе нового вида лучей. Прежде всего нужно было установить, не является ли радиоактивное излучение потоком заряженных частиц. Так в историю физики вошел классический опыт с магнитом. Узкий пучок лучей от радиоактивного источника пропустили между полюсами сильного магнита. Если частицы заряжены, то под влиянием магнитного поля путь их полета неизбежно искривится.

Излучение разделилось на три части. Менее отклонившийся поток лучей был назван альфа-излучением, не изменившийся под влиянием магнита лучевой поток получил наименование гамма-лучей. Наиболее искривившаяся часть излучения стала называться бета-лучами.

Каждый вид лучей изучили отдельно. Оказалось, что они по-разному поглощаются различными веществами. Чтобы задержать альфа-лучи, достаточно было тонкого листа бумаги. Бета-лучи, напротив, легко преодолевали даже алюминиевую пластинку в несколько миллиметров толщиной. Но самой мощной проникающей способностью обладали гамма-лучи. Для их поглощения понадобились уже толстые свинцовые плиты.

Потом выяснилось, что альфа-лучи представляют собой поток быстро летящих положительно заряженных частиц, приблизительно в 7 000 раз более тяжелых, чем электроны, образующие пучок бета-лучей. Именно потому, что масса альфа-частиц намного превышала массу электронов, их пучок сравнительно слабо отклонялся

магнитным полем. Чтобы выяснить природу альфа-частиц, Резерфорд положил в стеклянный сосуд с двойными стенками, между которыми был откачан воздух, кусочек радия. Излучаемые радием альфа-частицы, проходя сквозь первую стеклянную стенку, теряли значительную часть энергии и уже не могли преодолеть второй преграды. Через некоторое время ученый исследовал пространство между стенками и обнаружил в нем самый легкий после водорода газ — гелий. Теперь мы знаем, что альфа-частицы — это ядра атомов гелия.

Оказалось, что на самом деле и альфа-лучи, и бета-лучи, представляющие собою потоки заряженных корпускул, не могут называться лучами в строгом смысле этого слова. Лишь гамма-лучи, которые в опыте Беккереля засвечивали фотопластинку и не отклонялись под влиянием магнита, полностью заслужили наименование лучей. Они оказались такими же, как и лучи Рентгена, электромагнитными колебаниями чрезвычайно высокой частоты, распространяющимися в вакууме со скоростью света.

Естественно было попробовать направить эти лучи на атомы «обычного», нерадиоактивного вещества. Резерфорд поместил на пути узкого пучка испускаемых радиоактивным веществом альфа-частиц тонкую, почти прозрачную полоску золотой фольги.

Для регистрации альфа-частиц ученый поставил экран из сернистого цинка. Каждая альфа-частица, попав на экран, должна была вызвать сцинтилляцию — хорошо заметную в темноте вспышку света.

Что мог дать такой эксперимент? Прежде всего, если атомы вещества, в данном случае золота, представляют собой сплошные шарики, то будут ли они отталкивать частицы или же, напротив, окажутся для них проницаемыми? Если атомы все-таки окажут сопротивление потоку корпускул, то последним придется вести себя как броуновской цветочной пылице в жидкости и ежесекундно менять направление в результате сотен и тысяч столкновений. В этом случае альфа-частицы станут вылетать из золотой фольги под самыми различными углами.

Но поведение альфа-частиц оказалось сложным и противоречивым. Большинство альфа-частиц проходило сквозь вещество, почти не отклоняясь. Это как будто свидетельствовало о проницаемости атомов. Но некото-

рые частицы, наоборот, отклонялись весьма значительно, иногда даже просто отскакивали назад. Правда, таких частиц было очень мало, но с ними нельзя было не считаться.

Уже через много лет Резерфорд, вспоминая об этих знаменательных для науки днях, говорил:

«Это было, пожалуй, самое невероятное явление, которое когда-либо встречалось в моей жизни. Оно было почти таким же невероятным, как если бы вы обстреливали 15-дюймовыми снарядами лист самой тонкой бумаги, а они отскакивали обратно и попадали в вас. После размышления над этим обстоятельством я убедился, что это обратное рассеяние могло быть результатом только прямого попадания. Но когда я произвел нужные расчеты, то увидел, что полученный результат по величине тоже невероятен — за исключением того единственного случая, когда Вы имеете дело с системой, в которой большая часть массы сосредоточена в ничтожно малом ядре».

Так природа убедительно заявила, что ключи к тайнам атома никогда не изготавлиются по шаблону. Итак, некоторые альфа-частицы в своем молниеносном беге неожиданно столкнулись с другими, еще сильнее заряженными положительным электричеством частицами. Причем заряд и масса этих, пока неизвестных, частиц были настолько внушительны, что альфа-частицы не спасала даже скорость в 20 000 километров в секунду, и они были отброшены назад.

Кто же этот неведомый и могучий противник? Атом? Но в атоме Томсона положительный заряд равномерно распределен по всей сфере. Откуда же взялись эти мощные силы отталкивания?

Оставалось одно — предположить, что весь положительный заряд и масса атома сконцентрированы в ничтожном, по сравнению с размерами самого атома, объеме.

Тогда становилось понятным поведение отброшенных альфа-частиц. Но Резерфорду понадобился кропотливый труд, почти двухлетняя бомбардировка различных мишеней, чтобы мелькнувшая догадка стала полноправным физическим термином. Так родилось понятие об атомном ядре, занимающем ничтожную часть атомного объема.



В сущности, атом не ажурен, он скорее... пуст. Если представить себе ядро в размерах большой городской площади, то сам атом вырастет до масштабов земного шара. А если плотно уложить атомные ядра в кубик объемом 1 см^3 , то последний весил бы 114 миллионов тонн.

В 1902 году Резерфорд и Содди определили законы, управляющие превращениями радиоактивных элементов. Показав, каким образом различные радиоактивные вещества после длинной цепочки распадов и превращений переходят в свинец, ученые не только реабилитировали руководящую идею алхимиков, но и низвергли представление об элементарности атома. Эксперименты же с рассеянием альфа-частиц поставили на повестку дня теоретической физики не терпящий отлагательств вопрос о новой модели атома. Теперь протон уже не мог быть не открыт!

Теория объяснила изменение траектории альфа-частицы, пролетающей около ядра атома золота. Стало возможным уже заранее предсказывать, на каком расстоянии от ядра должны отклоняться снаряды атомной артиллерии, в какие точки светящегося экрана попадать.

Безукоризненная точность экспериментов позволила Резерфорду создать новую модель атома — планетарную.

Вокруг положительно заряженного ядра атома точно планеты вокруг солнца вращаются электроны. Они-то и определяют химические свойства вещества. Ведь химические реакции основываются на том, сколько электронов может отдать или взять тот или иной атом. Всего же электронов в атоме столько, что их общий заряд полностью уравнивает положительный заряд ядра. Атом в целом электрически нейтрален. Количество электронов, вращающихся вокруг ядра на различных орбитах, — это основная характеристика атома, его «атомный номер», который определяет положение элемента в периодической системе Д. И. Менделеева.

Идеи Резерфорда получили развитие в трудах его ученика, великого датчанина Нильса Бора. Когда Бор в 1961 г. посетил Москву, то участники семинара в Институте физических проблем встретили его шутливыми стихами: «Вот атом, который построил Бор». Бор действительно «построил атом», атом водорода. Спустя лишь год

после того, как Томсон развил свою гипотезу о строении атома, предложенная Бором теория атома водорода открыла новую эру в атомной физике.

Теория Бора содержала в себе не только схему структуры атома, удовлетворительно объяснявшую некоторые закономерности в спектральных линиях водорода, но также и принцип, по которому строятся электронные оболочки всех атомов.

Вскоре после опубликования теории атома водорода Арнольд Зоммерфельд предложил более усовершенствованную модель атомных орбит. Теория Зоммерфельда разрешила электрону двигаться не только по круговым орбитам, но и по эллиптическим. Атом все больше становился похожим на планетную систему. Но любители аналогии начинали испытывать тревогу. Механика микромира оказалось сложнее небесной механики, и каждое новое подтверждение «планетарности» атома явилось одновременно и новой характеристикой его особых, ни с чем не сравнимых свойств. Атом Бора усложнялся. В 1925 году Уленбек и Гоудсмит для объяснения некоторых свойств электронной структуры щелочных металлов выдвинули гипотезу о вращающемся электроны. Сейчас нам известно, что все электроны вращаются независимо от того, свободны они или связаны с атомами различных веществ.

На первый взгляд кажется, что такое свойство, как собственное вращение электрона, должно было означать подлинный триумф аналогии, которая была в начале нашего века перекинута между Солнечной системой и атомом. Но диалектика учит нас другому. А в истории атома законы диалектики получили блестящее подтверждение. Различные состояния электронов, образующих оболочку атома, как будто бы не противоречили, каждое в отдельности, идее «планетарности». Но когда все состояния электрона были теоретически определены и охарактеризованы особыми числами (физики называют эти числа квантовыми), родилось новое качество. Оно было сформулировано в знаменитом принципе Паули: «никакие два или большее число электронов в одном и том же атоме не могут иметь все четыре квантовых числа совпадающими». Ничего подобного небесная механика не знает. Аналогия оказалась чисто формальной, такую ее и нужно воспринимать. Никому же не пришло в

голову считать, что атом Томсона действительно начинен маленькими отрицательными «изюминками». И бесполезно в мире бесконечно больших объектов или же в микромире искать дубликаты наших земных понятий и представлений. Каждая система имеет свои особые законы, даже время, как мы увидим впоследствии, в разных системах течет по-разному. Но мир един. И тысячи невидимых нитей, сложные цепи не всегда сразу угадываемых причинных связей тянутся от маленького атома к огромным сияющим звездам, к далеким неведомым галактикам. Поэтому мы еще не раз возвратимся и к электрону, и к его орбитам. Ведь даже сведения о звездах, содержащиеся в радужных полосах спектров, мы расшифровываем при помощи теории атома.

Но в атоме нас прежде всего интересует ядро. Оно родилось загадочным, загадочным и осталось, несмотря на то, что физики вырвали у него много тайн. Радиус ядра почти в 10 000 раз меньше радиуса атома, но, несмотря на это, в нем сосредоточена почти вся атомная масса. Ядро — это прежде всего средоточение вещества. Помните, сколько весит один кубический сантиметр ядра? Поэтому для того чтобы разгадать строение вещества, нужно было начать штурм ядра.

Но сделаем небольшое отступление и чуть-чуть забежим вперед.

После непосредственного обнаружения в 1911 г. атомного ядра, когда стало ясно, что бета-электроны вылетают из ядер, сущность бета-распада все еще оставалась загадочной. По аналогии с томсоновским пудингом предполагалось, что электроны просто существуют в ядре и окружающем его пространстве. Только открытие нейтрона позволило раз и навсегда изгнать электроны из атомных ядер. Но и это не спасало теорию бета-распада от тупика. Механизм образования электронов по-прежнему был тайной за семью печатями. В 1934 году Ферми предположил, что в момент радиоактивного превращения электрон внезапно возникает в ядре и улетает из него под видом бета-частицы. Предположение Ферми, что бета-распад связан с рождением частиц вещества, конечно, было облечено в математическую форму и формулировалось на языке квантовой теории. Оно не только хорошо объясняло явление бета-распада, но и предсказывало и такие превращения некоторых ядер,

когда вместо электронов будут испускаться позитроны. Как мы знаем теперь, это блестяще подтвердилось работами по искусственной радиоактивности.

Физики привыкли уже, что теории, хорошо описывающие то или иное явление микромира, как правило, охватывают более широкий круг проблем, чем это представлялось их творцам в первый момент. Такие теории чреваты сюрпризами. Мы увидим далее, как разработанная Дираком теория электрона подарит первую античастицу, а теория бета-распада Ферми преподнесет нейтрино.

Смысл этого отступления в том, чтобы показать, что развитие научной идеи подобно росту дерева. Развивается не только верхушка, но и нижние ветви. При этом, подобно растениям бразильской мангровы, иногда даже далеко расположенные ветви неожиданно соединяются общим побегом.

Второй «кирпичик»

Простейшее ядро, конечно, у самого легкого атома водорода. Оно в 1836 раз тяжелее вращающегося вокруг него единственного электрона. Ядра всех других элементов тяжелее ядра водорода. У следующего за водородом гелия ядро вчетверо тяжелее. А ядро урана, самого последнего из естественных элементов в таблице, в 238 раз превосходит по массе скромное ядрышко водорода.

В 1913 году английским физикам Фаянсу и Содди удалось выяснить механизм радиоактивного распада. Так в науку об атоме вошло правило смещения Фаянса — Содди. Что же это за смещение?

Когда ядро радиоактивного элемента испускает альфа-частицу, то она отнимает у него две единицы заряда и четыре единицы заряда массы. Поэтому образовавшийся элемент смещается в таблице Менделеева на две клетки левее.

При бета-распаде масса атома практически не меняется, но, теряя отрицательно заряженную частицу, атом приобретает положительный заряд и смещается на одну клетку вправо.

Изучение различных видов радиоактивного распада буквально наводило на мысль, что между зарядом ядра

и его массой существует какое-то очень важное и в то же время простое соотношение. Интересно, что это соотношение могло бы быть открыто еще за сто лет до опытов Резерфорда. В те, уже далекие времена, когда ученым удалось лишь приближенно определить атомные веса различных элементов, многих исследователей глубоко волновала та закономерность, с какой эти веса увеличивались от элемента к элементу. Казалось само собой разумеющимся, что атомный вес водорода нужно принять за единицу и тогда атомные веса остальных элементов будут целыми числами.

В 1816 году лондонский врач Вильям Проут писал: «Если бы атомы всех химических элементов были первичными основными частицами, подлинными «кирпичами мироздания», не разложимыми на части и несколько не связанными друг с другом, то какая могла бы быть причина тому, что атом азота ровно в 14 раз тяжелее атома водорода, а кислородный атом — ровно в 16 раз?!»

Проуту было совершенно ясно, что атом, выражаясь современным языком, это не элементарная частица. За исключением, может быть, атома водорода, из которого построены все остальные атомы. Идея Проута могла бы значительно ускорить наступление атомного века, она могла бы совершенно перевернуть тогдашние представления о строении вещества. Могла бы... Но законы развития таковы, что преждевременная идея была опровергнута дальнейшим развитием науки.

Более точные методы измерения атомных весов показали, что массы атомов все же не являются целыми кратными атому водорода и что это различие иногда весьма значительно. У науки не оказалось сколько-нибудь удовлетворительных объяснений, чтобы примирить закономерность Проута с отклонениями от целых значений. И естественно, что гениальная догадка была забыта, но ей суждено было возвратиться в науку, но возвратиться по спирали, обогащенной фактами новых открытий и, конечно, основательно видоизмененной.

Резерфорд доказал, что ядра атомов — это тяжелые, положительно заряженные частицы. Но считать все ядра состоящими из атомов водорода не позволяло то обстоятельство, что заряд ядра и атомный вес численно совпадали только у одного водорода. Для остальных

элементов заряд был гораздо меньше. У того же урана атомный вес 238, а заряд только 92. Что же тогда еще, кроме водородного ядра, входит в состав ядер остальных атомов? Физики попытались создать модель атомного ядра на основе уже имеющихся «кирпичей», без привлечения новых частиц. Впоследствии это стало любимым приемом и, как мы далее увидим — приемом ошибочным. Ошиблись они и на этот раз. Физики предположили, что ядра всех атомов сложены все-таки из ядер водорода, число которых в точности равно атомному весу. Но вместе с положительно заряженными водородными ядрами в состав атомных ядер входят еще и электроны, которые нейтрализуют избыточную часть положительных зарядов.

Эта теория способна была объяснить все известные в то время факты. Более того, в пользу этой теории свидетельствовал даже бета-распад, так как в процессе этого распада из ядер радиоактивных элементов вылетали электроны.

Дальнейшее подтверждение эта теория получила с открытием изотопов. Благодаря работам Астона было установлено, что большинство элементов не являются простыми, а представляют собой смеси нескольких типов атомов, различающихся между собой по массе. Различные типы атомов данного элемента получили название изотопов.

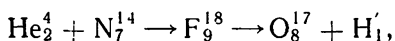
Напомним, что все изотопы данного элемента имеют одинаковый атомный номер или, говоря иначе, одинаковое количество электронов, что обуславливает их одинаковые химические свойства. Но масса ядер у изотопов — дело довольно сложное.

Когда определили атомные веса отдельных изотопов, то обнаружился поразительный факт: все они были очень близки к целым числам, т. е. почти кратны весу ядра водорода. Хлор, например, имеющий атомный вес 35,457, оказался смесью из двух изотопов с атомными весами 34,978 и 36,977, а медь представляли изотопы с весами, близкими к 63 и 65. Если закрыть глаза на это слово «почти», то Проут был прав. Физики так и сделали, и гипотеза о том, что ядра всех элементов построены из ядер водорода, победила. Эти ядра, несущие по одному элементарному положительному заряду, были названы «протонами», значит, «простейшими».

И все-таки это была лишь умозрительная гипотеза. Требовалось, как всегда, авторитетное заключение эксперимента.

В 1919 году Резерфорд подверг бомбардировке альфа-частицами атомы азота и установил, что расщепленные ядра испускают протоны. Некоторое время спустя и другие исследователи наблюдали, как разрушенные ядра выбрасывают протоны. Следовательно, тот факт, что протоны входят в состав атомных ядер различных элементов и поэтому могут считаться элементарными частицами, можно было считать экспериментально подтвержденным. Так родился второй «кирпичик» мироздания — протон.

Вот эта первая ядерная реакция, открывшая эпоху искусственного превращения элементов:



He_2^4 — это альфа-частица (ядро атома гелия,) N — азот, F — фтор, O — кислород и H — протон, который отныне будем обозначать p .

Если и катастрофа, то далеко не последняя

Последовавшие за открытием протона годы были временем блестящих экспериментов и неуклонных исканий, молодостью теории атома, которая завершилась созданием квантовой механики.

В 1911 году англичанин Чарльз Вильсон предложил гениально простой способ непосредственного наблюдения заряженных частиц. С этого момента физики получили уже вещественное доказательство реальности «придуманных» ими частиц — фотографии туманных треков, оставляемых пролетевшей в камере Вильсона частицей. Возможности эксперимента невообразимо возросли. Можно было уже воочию видеть, какие превращения происходят с альфа-частицами, протонами, электронами, можно было считать отдельные частицы.

Не успела утвердиться теория атомного ядра, состоящего из протонов и электронов, как сомнение охватило ее создателей. И дело здесь не в предчувствии, даже не в интуиции. Все было значительно проще и в то же вре-

мя сложнее. Физики понимали, что электроны нельзя допускать в атомное ядро, а без них невозможно было объяснить его строение. Это была мучительная борьба, упрямый поиск самого правильного, но не самого простого пути.

Возьмем, к примеру, резерфордовскую реакцию. Атомный вес азота 14. Заряд его равен +7. Следовательно, в состав ядра входит 7 протонов. Но куда девать тогда «лишние» 7 единиц массы? Если же считать, что в ядре азота 14 протонов и 7 электронов, которые компенсируют избыточные 7 единиц заряда, то против этого восстает квантовая механика. Из нее следует, что электрону весьма нелегко находиться в столь малом объеме, как ядро. Ведь размеры его орбит атомные, а не ядерные — 10^{-8} см. Но это можно было бы еще как-то пережить. Главное заключалось в другом.

Чтобы понять затруднения физиков, нам придется познакомиться с таким важным понятием, как «спин» элементарной частицы. По-английски «спин» означает вращение, кручение. Многие частицы обладают спином, это одно из четырех «квантовых свойств», о которых уже говорилось. Из законов квантовой механики следует, что для многих целей можно наглядно представить себе элементарную частицу в виде волчка. Такая картина в общем будет правильно передавать симметрию движения (и, в частности, закон сохранения количества движения, придающий волчку устойчивость), но ее нельзя свести к привычным свойствам движений классической механики (вращение вокруг оси). Спин — это новое качество, которое появляется в микромире. Вращательный момент, или спин частицы, не может быть каким угодно. Он всегда является кратным определенной величине — единице спина: $\hbar = \frac{h}{2\pi}$, где h — постоянная

Планка, равная $6,6252 \cdot 10^{-27}$ эрг. В этих единицах спин может быть равен только 0, $\frac{1}{2}$, 1, 2, 3 и т. д. Когда две частицы соединяются в одну, более сложную (никто, впрочем, не может пока сказать, какая элементарная частица проще и какая сложнее устроена), их спины складываются. Если спины были равны по величине, но противоположны по направлению, суммарный вращательный момент новой частицы становится равным нулю. О такой частице можно с одинаковой степенью точно-

сти сказать, что она не обладает спином или же обладает спином, равным нулю. Если же направления спинов совпадают, допустим $+1/2$ и $+1/2$, то суммарный спин становится равным единице. В том, что спин является важнейшей характеристикой элементарной частицы, нам предстоит убедиться несколько позднее. Здесь же можно только заметить, что свойства частиц со спином, равным $1/2$ (электроны, протоны, нейтроны), существенно отличаются от свойств частиц с целым спином (пионы).

Спин элементарной частицы в отличие, допустим, от вращения молекулы является собой неизменное свойство. Электрон нельзя удержать от вращения и его вращение нельзя ускорить или замедлить. Спин — это столь неотъемлемое свойство частицы, что изменить его, не разрушив саму частицу, невозможно. Здесь есть известная тонкость. И, если точнее охарактеризовать явление, вынудив частицу вращаться скорее, мы получим совершенно новую частицу. Вот какое сугубо индивидуальное свойство — спин.

Понятно, что моменты количества движения отдельных частиц исключительно малы. Листая эту книгу, вы обладаете моментом количества движения по меньшей мере в 10^{33} раз большим, чем отдельный электрон. Сравнение количества движения электрона и человека вполне правомерно. Принцип квантования спина в нашем мире столь же справедлив, как и в микромире, Просто влияние квантования столь ничтожно, что на большем объекте мы не можем даже его измерить. В конце концов, какая разница, обладаем ли мы моментом количества движения 10^{33} или $10^{33} + 1$? Конечно, такого незначительного приращения никак не зарегистрируешь. Понятно поэтому, что и открыли мы квантовые свойства не в окружающем нас мире, а в мире отдельных микрочастиц.

Пожалуй, стоит еще немного продолжить рассказ о вращательном движении частиц, вернее, о тех ограничениях, которые квантовая механика накладывает на это вращение. Ось вращения каждой частицы может принимать только несколько определенных направлений относительно приложенного внешнего поля. Частица со спином $1/2$ может принимать только два положения: ось вращения может быть направлена по полю или против

поля. Частицы со спином 1 могут принимать уже три положения: ось вращения может быть направлена по полю, перпендикулярно ему или против поля.

Другая важная характеристика частиц, определяемая их спином, носит название «статистики». Электроны, протоны и нейтроны (и все другие частицы, обладающие спином $1/2$) подчиняются уже упомянутому принципу запрета, который говорит, что только одна частица данного сорта может занимать определенное квантовое состояние. Так, например, в атоме может быть только один электрон, вращающийся в определенном направлении и в то же время совершающий свое обращение вокруг ядра по заданной орбите. О частицах, удовлетворяющих этому правилу запрета, говорят, что они подчиняются статистике Ферми — Дирака и соответственно называются фермионами. Частицы, обладающие спином, кратным единице, не удовлетворяют принципу запрета. Они подчиняются статистике Бозе — Эйнштейна и называются бозонами.

Теперь мы вновь вернемся к проблеме атомного ядра. Если все-таки предположить, что в состав ядра азота входит 14 протонов и 7 электронов (всего 21 частица), то суммарный спин азота должен быть полуцелым (алгебраическая сумма нечетного числа половинок). Но спин азота был известен и его величина равна единице. В этом и был смысл «азотной катастрофы».

Потом будет еще много подобных катастроф, которые благополучно завершатся открытием новой элементарной частицы. Может быть, когда-нибудь физики откроют новый мировой закон, который сейчас можно сформулировать лишь как эмпирическое правило: «Не пытайся построить мир лишь из тех материалов, которые тебе известны; природа гораздо сложнее». Для разрешения азотной катастрофы нужна была новая частица. Свойства этой, еще не открытой частицы были заранее известны. Ведь физики исходили из того же принципа, по которому человек, отгадывающий кроссворд, ищет нужное слово. Он знает смысл этого слова, даже некоторые буквы. Точно также и физики задали этой частице свойства, которые сразу же разрешили катастрофу: азотную, кислородную, криптонную, всякую. Они предположили, что в ядре имеются частицы, равные по массе протону, но не имеющие электрического заряда.

Идея существования такой частицы была настолько заманчива, что в 1920 году ее высказали сразу три физика: Резерфорд в Англии, Мэссон в Австралии и Харкинс в США. Исходя из того, что частица должна быть электрически нейтральной, Харкинс даже придумал ей имя: нейтрон. Впрочем, слово «придумал» не совсем верно. Мало кто знает, что в 1902 году впервые понятие «нейтрон» ввел Вильям Сезерленд в статье, напечатанной 65 лет назад в английском «Философском журнале». Он придавал нейтрону такой же смысл, как и Резерфорд, предполагая его структуру в виде теснейшей комбинации положительного и отрицательного зарядов, нейтрализующих друг друга, и предложил изображать его музыкальным знаком — бекар.

Для электрона он ввел символ бемоль, а для положительного заряда — диез. Но это не привилось и об этом все забыли. Как бы то ни было, но с помощью имевшихся в то время средств, обнаружить нейтральную частицу было невозможно. Ведь след в камере Вильсона оставляли только заряженные частицы. Поэтому нейтрону предстояло еще десять лет ждать своей очереди. Может быть, ему бы и еще дольше предстояло оставаться неоткрытым, если бы не один непонятный случай.

«Покой нам только снится»

Однажды немецкие физики Боте и Беккер подвергли бомбардировке альфа-частицами несколько мишеней, сделанных из различных элементов. И вот, когда исследователи принялись «обстреливать» атомы легких элементов: лития, бериллия, бора, — обнаружилось странное явление. Бомбардируемые элементы стали испускать очень слабое, но исключительно интенсивное по проникающей способности излучение. Оно легко проходило через экраны, которые целиком задерживали альфа-частицы, гамма-лучи, рентгеновское излучение. Так появилась новая загадка — бериллиевое излучение. В течение двух последующих лет многие ученые повторили эксперимент Боте — Беккера, но установить природу всепроникающих лучей не удалось.

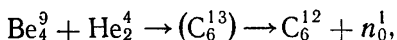
Ирен Кюри и ее муж Фредерик Жолио решили поставить на пути исследуемых лучей парафиновый экран.

Парафины — углеводороды, молекулы которых состоят из прямых углеродных цепей с присоединенными атомами водорода. Неизвестное излучение, пройдя сквозь парафин, выбило из него ядра водородных атомов — протоны. Это был знаменательный факт, может быть, положивший начало радиационной химии и даже радиационной генетике. Но тогда физиков прежде всего интересовала природа бериллиевых лучей. Эксперимент молодых французских ученых ясно показал, что излучение характеризуется очень высокой энергией, так как гамма-лучами никогда не удавалось выбить из парафина протоны таких больших скоростей. Несмотря на это, предпринимались различные попытки приписать свойства нового излучения особым гамма-лучам, обладающим высокой энергией. Однако такое объяснение неизбежно приводило к все более запутывающемуся клубку противоречий. Наконец, 27 февраля 1932 года Джеймс Чедвик после многочисленных опытов высказал мысль о том, что излучение Боте — Беккера — отнюдь не электромагнитные волны. Это поток новых элементарных частиц, не обладающих электрическим зарядом, масса которых очень близка к массе протонов. Это были нейтроны.

Чедвик дал правильное объяснение необыкновенной проникающей способности новых элементарных частиц. Он объяснил ее отсутствием электрического заряда, благодаря чему нейтроны пролетают сквозь атом, не взаимодействуя с электронами.

Вскоре после открытия Чедвика испускание нейтронов было обнаружено при облучении альфа-частицами других элементов. Нейтрон стал полноправным обитателем атомного ядра.

Но вернемся к бериллиевой загадке. После открытия нейтрона она перестала быть загадкой и превратилась в обыкновенное уравнение — (α, n) -реакцию:



где n_0^1 — нейтрон, обладающий нулевым зарядом и массовым числом, равным единице. Но сколько вложено труда, сколько хитроумных ухищрений понадобилось проделать Чедвику, чтобы запутанная, загадочная картина стала простой и ясной.

В качестве источника альфа-частиц Чедвик выбрал полоний, который был нанесен на специальный диск. Диск и установленную перед ним бериллиевую мишень он поместил в вакуумную камеру. Выбиваемые из бериллия нейтроны вылетали сквозь тонкую стенку вакуумной камеры и через окошко проникали в ионизационную камеру, которая через усилитель соединялась с регистрирующим устройством.

Нейтроны зарядом не обладают, поэтому сами по себе они не могут создать в камере никакой ионизации. Но, ударяясь о стенки камеры, они выбивают из них заряженные атомные ядра, которые и образуют в камере ионы. Они-то и регистрируются поворотом колесика электрического счетчика или щелчком в громкоговорителе.

Когда выбитые из бериллия нейтроны проникают в камеру, счетчик регистрирует лишь несколько отсчетов в минуту. Причем это число отсчетов мало изменялось даже в том случае, когда Чедвик помещал перед окошком камеры тонкий свинцовый экран. Зато когда он вместо свинца брал тонкую пластинку парафина, число отсчетов в регистрирующем устройстве резко возрастало. Это можно было объяснить лишь тем, что нейтроны наталкивались на равные им по массе ядра водорода и выбивали их из молекул парафина. Заряженные протоны влетали в ионизационную камеру и вызывали увеличение числа отсчетов.

Так в списке «кирпичиков Вселенной» появилась еще одна частица — нейтрон. Вместе с нейтроном родилась и новая отрасль физики — нейтронная физика, развитие которой привело к практическому использованию атомной энергии.

Открытие нейтрона не принесло успокоения. Скорее наоборот. Прежде всего нужно было переосматривать сложившиеся представления о строении атомного ядра. Сначала все как будто обстояло вполне благополучно. Теоретикам даже удалось устранить самое слабое звено во всей картине строения ядра; наконец, стало ясно, что никакие электроны в состав ядра не входят. Основной составной частицей ядра наряду с протоном является нейтрон. Новая теория строения ядра была разработана в 1932 году Вернером Гейзенбергом и независимо от него Д. Д. Иваненко и Е. Г. Гапоном.

Атом все меньше походил на пудинг с изюмом. Согласно новым представлениям, ядра атомов состояли уже из протонов и нейтронов. Число протонов в ядре равно сумме его положительных зарядов, то есть атомному номеру элемента, а масса протонов и нейтронов — атомному весу.

Так, в состав ядра гелия входят два протона и два нейтрона. Поэтому заряд ядра атома гелия равен двум, а масса — четырем. Вокруг ядра вращаются два электрона, которые компенсируют заряд ядра и делают атом нейтральным. Существование нейтрона позволило довольно просто объяснить природу изотопов. Оказалось, что изотопы одного и того же элемента разнятся между собой по массе за счет различного количества нейтронов в ядре.

Новая теория строения атомного ядра молниеносно получила признание. Она полностью отвечала многочисленным фактам, накопленным к тому времени, хорошо объясняла их, показывала физикам новые пути для экспериментов, открывала широкие перспективы для различных теоретических работ. Но с момента создания этой удобной и логичной теории строения ядра физики вступили на первую ступеньку лестницы, ведущей в лабиринт.

Чем глубже проникали они в атом, тем больше загадок вставало перед ними.

Первой выплыла загадка таинственных (сколько раз нам еще придется употребить это определение) ядерных сил. Суть этой загадки можно изложить в коротком вопросе: что удерживает протоны в ядре?

Казалось, что электрические силы, которые притягивают отрицательный электрон к положительному ядру, должны были бы заставить протоны разлететься в разные стороны. Но протоны не только не разлетаются, но, напротив, противостоят попыткам разрушить ядро. Сейчас известно, какие высокие энергии требуются для расщепления атомных ядер. Значит, дело не в электрическом притяжении и отталкивании. Тем более что силы, которые удерживают протоны и нейтроны в ядре, во много раз превосходят электрические. Да и как электрические силы могут влиять на незаряженный нейтрон? Ньютоновская сила тяготения тоже не может служить разумным объяснением, ведь она в 10^{37} раз меньше дей-

ствительных сил ядерного сцепления. Ядерные силы совершенно не зависят от электрического заряда частицы. Они обладают свойством «зарядовой независимости». Приблизительно с одинаковой силой притягиваются друг к другу протон и нейтрон, нейтрон и нейтрон, протон и протон. Однако ядерные силы обладают исключительно небольшим радиусом действия. На расстоянии порядка 10^{-13} см два протона притягиваются друг к другу с силой, в 40 раз превосходящей их электростатическое отталкивание. Но стоит увеличить это расстояние только в четыре раза, ядерные силы станут равны электростатическому отталкиванию. Резко меняется характер ядерных сил и на очень малых, менее $0,5 \cdot 10^{-13}$ см, расстояниях. Здесь они как бы меняют направление, превращаясь в еще более мощные силы отталкивания. Откуда же берутся эти таинственные силы, которые возникают как новое качество при переходе от масштабов атома к масштабам ядра? Попробуем разобраться в законах, управляющих электростатическими силами именно заряженной пары электрон — протон. Но прежде нам предстоит возобновить разговор еще об одном ветеране субатомного мира — фотоне. Это частица долго занимала обособленное положение.

Первое знакомство с пространством — временем

Фотон не сразу занял место в списке элементарных частиц. Причин для этого было много. Слишком отличался он по своим свойствам от ядерных частиц — нуклонов (протонов и нейтронов) и электронов.

Фотон вел себя зачастую очень странно. Его поведение трудно было предугадать заранее. Столкнувшись с атомом, он мог разделиться на два фотона, а мог и вообще бесследно исчезнуть. Электрон же в то время казался физикам совсем иным. Никто, например, не видел, чтобы он исчезал вдруг подобно фотону. Да и была ли нужда в фотоне? Ведь еще недавно свет рассматривался как поток электромагнитных волн. Волны могли проходить через узкие отверстия или огибать препятствия, взаимно усиливаться или погашать друг друга, волновые колебания света прекрасно описывались матема-

тическими уравнениями и представляли собой один из совершеннейших, изящнейших разделов физики. Но и о физической природе света было известно немного. Даниил Данин в своей книге «Неизбежность странного мира» очень верно сказал:

«Вы замечаете — едва зашла речь о фотоне как об элементарной частице, возглавляющей нынешний список «первооснов», как нас тотчас увело в непроходимую чашу вечных, столетиями решаемых «проклятых вопросов» науки о природе. Но, право же, произошло не из-за нашей неосторожности. Просто в мире элементарных частиц шагу нельзя ступить, чтобы не влезть в эти дебри. В этом не беда, а привлекательность и соблазн рассказа про драматические поиски «первооснов материи».

Мы тоже вынуждены идти не проторенной дорогой исторического повествования, где каждое последующее событие моложе предыдущего, а скорее по спирали, возвращаясь время от времени к старому или же уходя вперед к «якобы старому».

Вспомним еще раз, что в 1887 году Майкельсон и Морли поставили свой классический эксперимент, показавший, что скорость света не меняется в зависимости от направления распространения.

Пусть на Земле и, допустим, на Венере построят по наблюдательной станции, на которых будут измерять скорость проходящего через них пучка света. Обе наблюдательные станции зафиксируют один и тот же результат независимо от того, движутся ли станции относительно друг друга или нет. Это очень важное положение. Эйнштейн принял его за отправную точку и решил проверить вытекающие отсюда следствия. Но получилось так, что следствия переросли породившую их причину и вышли далеко за пределы ее.

В 1905 году появилась знаменитая статья Эйнштейна «К электродинамике движущихся тел». Известный польский физик Леопольд Инфельд, много лет проработавший вместе с Эйнштейном, дал этой работе весьма меткую характеристику:

«Название статьи очень скромное, однако при чтении мы сразу же замечаем, что эта работа отличается от других аналогичных работ. Она не содержит ссылок на литературу, не цитируются авторитеты, а отдельные

сноски носят лишь пояснительный характер. Работа написана простым языком, и большая ее часть может быть понята без глубокого знания предмета. Можно только удивляться, что эта работа, отличающаяся так резко по своей форме от обычных научных работ, была пропущена референтом (если такой вообще существовал). Это тем более удивительно, что для полного понимания этой статьи требуется такая глубина, которая ценнее и встречается реже, чем педантичное знание. Метод изложения и сам стиль работы сохранили свою свежесть еще и сегодня. Она до сих пор является лучшим пособием для изучения теории относительности. Автор этой работы не принадлежал к научным кругам, он не был даже преподавателем средней школы. В то время, 50 лет назад, будучи молодым доктором философии, 26 лет от роду, он служил в Швейцарском патентном ведомстве в Берне».

Хотя Эйнштейн в специальной теории относительности и постулировал *одинаковость законов физики во всех инерциальных системах координат, движущихся равномерно и прямолинейно друг относительно друга*, это не означало, что классические законы физики следовало рассматривать как абсолютные. Уже при обсуждении проблем эфира было ясно, что классическая механика не может объяснить ряд феноменов, вытекающих из движения тел с околосветовыми скоростями. Поэтому многие физические законы необходимо было видоизменить, придать им такую форму, которая отвечала бы постулату Эйнштейна.

Представьте себе совершенно изолированную от внешнего мира лабораторию. Это нетрудно, не правда ли? Так вот, ни один опыт, произведенный внутри этой лаборатории, не обнаружит ее равномерного и прямолинейного движения относительно неподвижных звезд. Это может показаться, пожалуй, самой собой разумеющимся и без теории относительности. Но если представить себе, что наша изолированная лаборатория начнет вращаться относительно звезд, то сразу же станет ясным, что находящийся в лаборатории экспериментатор сейчас же это заметит. Принцип Эйнштейна отнюдь не очевиден, а скорее удивителен.

Эйнштейн распространяет принцип относительности на все законы природы (а в первую очередь на законы

электромагнетизма), тем самым сразу объясняя отрицательный результат в опыте Майкельсона как совершенно очевидное следствие теории относительности.

Равномерное прямолинейное движение относительности неподвижных звезд ни на что не влияет, и поэтому пусть Земля движется, световые лучи в установке Майкельсона ведут себя точно так же, как если бы она покоилась.

В какой-то мере можно привести здесь аналогию о пассажирах, играющих в бильярд в салоне равномерно плывущего корабля. Они не заметят никакой разницы в движении шаров, направленных по направлению корабля или против движения под углом 90° к курсу корабля.

Летающий по сукну шар «не знает», куда движется корабль, он с одинаковой легкостью летает от борта к борту, независимо от курса корабля. Игроки в итоге совершенно не ощущают, идет ли игра на корабле или же в здании, построенном на твердой земле.

Если бильярдный стол представить себе в виде установки Майкельсона, шары уподобить световым лучам, а корабль — Земле, то весь опыт пройдет так, как если бы Земля покоилась относительно неподвижных звезд. Световым лучам, подобно шарам, безразлично, под каким углом к направлению движения Земли они распространяются.

Выявление новых законов, вытекающих из механики субсветовых скоростей, было делом нелегким. Эти законы прежде всего должны были правильно отображать все известные к тому времени явления. Кроме того, а это, пожалуй, было наиболее трудным, требовался коренной пересмотр некоторых основных концепций механики, таких, например, как определения силы, массы, ускорения.

На этой стадии у Эйнштейна была известная свобода выбора, но всегда его выбор был направлен в сторону простых математических форм. Основную суть его теории тоже можно изложить в сравнительно простых положениях.

1. Формулировка Ньютона гласила: «Абсолютное, истинное и математическое время самое по себе, по своей собственной природе, течет единообразно, безотносительно к чему-либо внешнему». После постулатов Эйн-

штейна уже нельзя утверждать, что события происходят в данное абсолютное время. Нельзя придавать абсолютный характер и понятию одновременности. Невозможно сказать вполне определенно, какое из двух событий предшествует одно другому, если эти события происходят в разных местах. Решение этого вопроса целиком будет зависеть от того, где находится наблюдатель, насколько он удален или близок от мест, где происходят интересующие нас события. Смысл этого положения станет более ясным, если представить себе, что информацию о событиях наблюдатель никогда не сумеет получить мгновенно, потому что переносчик информации — световой сигнал — движется с конечной скоростью.

2. Точно так же, как мы отказались от понятия «абсолютного времени», нам следует отказаться и от понятия «абсолютного пространства». Действительно, один наблюдатель с полной уверенностью заявит, что два события произошли в одной и той же точке пространства, но в разное время. А другой наблюдатель с не меньшим основанием станет утверждать, что события произошли в разных местах. Оказывается, что второй наблюдатель находился в движении относительно первого. Пространство и время связаны прочными узами относительности. О времени можно говорить как о четвертой координате, «четвертом измерении» пространства. Пожалуй, наиболее точно говорить вообще: пространство — время. Движение различных форм материи осуществляется в пространстве, а последовательные изменения ее качественных состояний — во времени. В этом различие, а также диалектическое единство и неразрывность движущейся материи и форм ее существования — пространства и времени.

3. Эйнштейновская механика показывает, что масса находящегося в движении тела всегда больше, чем в состоянии покоя. Благодаря движению тело приобретает прирост массы, который тем больше, чем выше скорость движения. Знаменитое уравнение «атомного века», хорошо знакомое даже самым далеким от математики людям: $E = mc^2$, представляет собой выражение одного из глубочайших законов природы. Присущая покоящемуся телу масса, масса «покоя», также связана с определенным количеством энергии.

У фотонов вообще нет массы покоя. Они всегда движутся со скоростью света, их масса проявляется лишь в движении. Можно сказать, что они существуют только потому, что движутся. Ни одно тело, ни одна элементарная частица не может двигаться со скоростью, превышающей скорость света. Фотоны движутся в пустоте со скоростью $c = 299\,776$ километров в секунду. Это самая большая скорость. Если скорость какого-то тела начинает приближаться к c , то резко увеличивается и масса тела. Поэтому когда говорят о массе элементарной частицы, то подразумевают ее массу покоя. Масса и энергия эквивалентны. Увеличивая энергию летящих в ускорителе частиц, мы тем самым увеличиваем их массу. Физики очень часто выражают массу частиц в единицах энергии.

Наконец, пересмотру подлежат не только законы механики, но и ньютоновский закон тяготения. Но об этом мы расскажем в другом разделе.

Короткие извлечения из кодекса странности

За пять лет до того, как Эйнштейном было произнесено слово «фотон», появилось, как мы помним, другое слово «квант». В 1900 году Планк высказал мысль, что энергия поглощается вполне определенными порциями, квантами. Порции же меньшей, чем квант, попросту не существует. Если атом когда-то считался пределом дробимости вещества, то квант стал пределом дробимости энергии. Последующее развитие квантовой теории сделало ее гораздо более общей и широкой, чем это представлялось ее творцу.

Сейчас без квантовой или волновой механики описание процессов микромира так же немыслимо, как и без теории относительности. Есть квантовая статистика, квантовая электродинамика, теперь появилась квантовая химия.

Планк изучал распределение энергии теплового излучения, испускаемого нагретыми телами, по длинам волн. Оказалось, что кривая распределения имеет ясно выраженный горб или пик. Это противоречило представлениям классической механики, из которых следовало, что кривая распределения должна в области очень корот-

ких волн приближаться к бесконечности. Идею о зернистости энергии сам Планк рассматривал лишь в качестве рабочей гипотезы, объясняющей неожиданное поведение кривой распределения. Но тем не менее он сформулировал свой знаменитый постулат: энергия источника колебания (имеется в виду микрообъект) не меняется непрерывно, а может иметь только определенные значения, кратные $h\gamma$, где γ частота колебаний, а h — уже известная постоянная. По мысли Планка, испускание или поглощение излучения сопровождается скачками с одного «энергетического уровня» на другой. Скачок от более высокого уровня энергии к более низкому сопровождается излучением. Поглощение же вызывает скачок от состояния с меньшим запасом энергии к уровню с большим запасом.

Скачки всегда сопровождаются поглощениями или излучением квантов энергии $h\gamma$. Предположение, что излучение испускается не непрерывно, а дискретно, импульсами, в корне противоречило существовавшим тогда представлениям о том, что свет и другие виды электромагнитных излучений распространяются как непрерывные ряды волн.

Эйнштейн воспользовался представлениями Планка о квантах энергии. Он указал, что для обоснования квантового характера обмена энергией между веществом и электромагнитным излучением необходимо привлечь данные, вытекающие из исследования фотоэлектрического эффекта.

В 1887 году Генрих Герц попытался экспериментально обосновать идею Максвелла о том, что свет распространяется как электромагнитные волны. Два десятилетия спустя, когда электромагнитные волны были получены, Герц обратил внимание на явление, сопровождавшее проскакивание искры в воздушном промежутке между двумя сферическими электродами вибратора. В поисках способов увеличения размеров искры Герц стал облучать искровой промежуток ультрафиолетовым светом и заметил, что зазор начал лучше проводить ток. Получалось, что свет делал воздушный промежуток более электропроводным.

В конце восьмидесятых годов прошлого века вышла в свет классическая работа А. Г. Столетова «Актинотелеграфические исследования», где были изложены основ-

ные законы фотоэффекта, подтвержденные впоследствии с большой точностью.

Опыт Столетова (приблизительно к этому же времени относятся эксперименты в области фотоэффекта Холлуэкса) классически прост. Облучая ультрафиолетовым светом пластинки металлов, ученый регистрировал ток в разомкнутой цепи. Оказалось, что под действием ультрафиолетового света из металла выбивались отрицательные заряды электричества. Теперь их называют фотоэлектронами.

Пользуясь представлениями о квантах, Эйнштейн обосновал природу фотоэффекта. Каждый электрон выбивается из металла под действием отдельного светового кванта или фотона, который при этом теряет всю свою энергию. Часть этой энергии уходит на разрыв связи электрона с металлом. Эйнштейн показал зависимость энергии электрона от частоты светового кванта и энергии связи электрона с металлом.

Казалось бы, на этом можно закончить историю фотона. Но, как это уже неоднократно было, появление новой элементарной частицы, распутывая одну путаницу, приводило к другой. Так обстояло дело и с фотоном. Хотя фотон и казался имеющим корпускулярные свойства (П. Н. Лебедев в 1889 году даже доказал существование светового давления), но определить энергию частицы света можно было, только представляя его себе в виде волны с соответствующей длиной и частотой.

Так что же такое фотон: волна или частица? Получалось, что и то и другое вместе. Распространяется фотон как волна, излучается и поглощается как частица. Он не обладает массой покоя и не может быть измерен в линейных единицах. То, что отличало фотон от других частиц, а именно прежде всего ярко выраженные волновые свойства, вместе с тем и сближало его с коренными обитателями микромира. Это хорошо сформулировал Луи де Бройль: «Почему, если волновой материи присущи свойства корпускулярности, мы не вправе ожидать и обратного: что корпускулярной материи присущи волновые свойства? Почему бы не мог существовать закон, единый для всякого вообще материального образования, неважно, волнового или корпускулярного?»

Если де Бройль прав, то это означает, что всякому веществу точно так же, как и излучению, соответствует

определенное периодическое волновое явление, зависящее исключительно от массы вещества и от скорости его движения.

В 1927 году американцы Дэвиссон и Джермер и англичанин Дж. П. Томсон подтвердили гипотезу де Бройля, открыв дифракцию электрона. Быстрые электроны, проходя сквозь очень тонкие пластинки металла, вели себя подобно свету, проходящему мимо малых отверстий или узких щелей!

Потом дифракция была обнаружена и у более «солидных» частиц: протонов, нейтронов, атомов, даже молекул.

Это было знаменательным событием. Две, казалось бы, такие противоречивые теории, как корпускулярная теория волновой материи и волновая теория корпускулярной материи, слились в одну квантовую механику. Из этого союза родилось новое качество, без которого невозможно было бы дать определение элементарной частицы. Это корпускулярно-волновая «двойственность», или дуализм элементарных частиц. Элементарные частицы — это не совсем частицы. Это частицы и волны одновременно, сосредоточенные в определенной области пространства.

Казалось, в микромире, наконец, наступил порядок. Но это был порядок среди странности. Радикальные идеи де Бройля, Шредингера, Дирака, Гейзенберга привели к такому полному синтезу всех квантовых явлений, что последние сомнения физиков рассеялись. Но уж очень радикальными были эти идеи! У объектов микромира оказались такие свойства, которые совершенно не имели аналогий в привычном нам мире.

Прежде всего приходилось расставаться с таким, казалось бы, неотделимым от движения атрибутом, как траектория. Брошенный камень летит по параболе. Как бы ни был сложен путь сильно пущенного бильярдного шара, который после нескольких ударов о борт и столкновений с другими шарами падает в лузу, но его можно проследить. Даже цветочная пылинка в знаменитом опыте, иллюстрирующем броуновское движение, обладает своей неповторимой траекторией.

Но элементарные частицы, движущиеся по законам квантовой механики, не имеют определенной траектории в обычном смысле этого слова. Это, конечно, до-

вольно трудно себе представить, если при слове «электрон» или «протон» в мозгу возникает представление о крохотном шарике, частице. Но не следует забывать о дуализме частиц, об их волновых свойствах. Траектория свойственная только корпускулярным объектам и макротелам, у волны, которая простирается в бесконечность, ее просто не может быть.

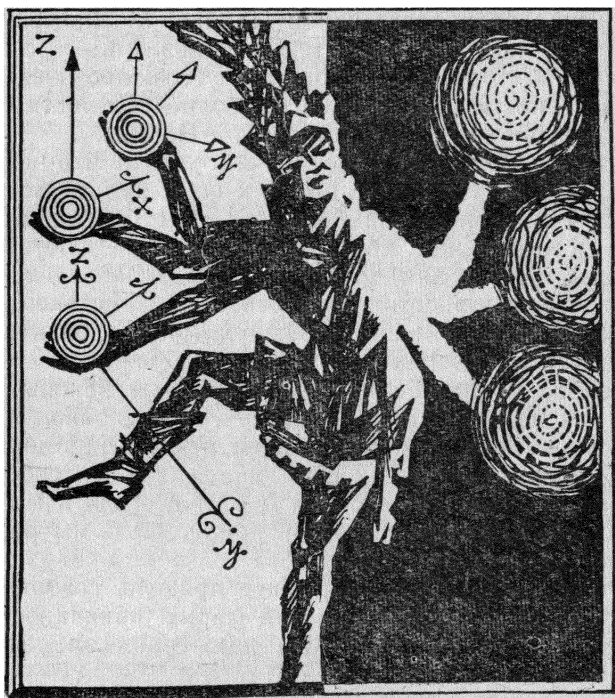
Если обстреливать тонкую пластинку не пучком, а отдельными электронами, обнаружится интересная картина. Попадая на экран, установленный за пластинкой, электроны будут давать знать о себе вспышками в разных точках экрана. Значит, электроны ударяются об экран как частицы. Но если мы посмотрим, как они располагаются на экране, то увидим концентрические круги с разрежениями и сгущениями. Располагаются на экране электроны по закономерностям волны.

Синтез столь противоречивых корпускулярно-волновых свойств в объектах микромира нельзя понимать буквально, механически. Сказать, что обитатели микромира — частицы и волны одновременно, это почти ничего не сказать. Точнее будет охарактеризовать их сущность так: это не корпускулы и не волны, а диалектическое единство свойств тех и других.

Естественно, что нам приходится сталкиваться с новыми качественными состояниями. Движение микротел в пространстве и времени нельзя отождествлять с механическими формами движения. Например, положение элементарной частицы в пространстве в каждый момент времени не может быть определено с помощью системы координат, тогда как для привычных нам тел мы всегда это можем сделать.

Движение микрочастиц осуществляется по своим, особым законам. Оно характеризуется при помощи волновой функции.

Исходя из идей де Бройля, австрийский физик Э. Шредингер разработал теорию движения микрочастиц с учетом их волновой природы. Он вывел уравнение, выражающее изменение состояния микросистемы от времени и дающее возможность определить в любой момент ее волновую функцию. Решая уравнение Шредингера, можно по заданному начальному состоянию определить вероятность нахождения частицы в заданной точке пространства в тот или иной момент.



Уравнение Шредингера для микромира — это приблизительно то же, что законы Ньютона для классической физики. Опираясь на него, Вернер Гейзенберг открыл одно очень любопытное следствие, которое стало основой основ квантовой механики.

Когда мы имеем дело с привычными нам объектами: камнем, велосипедистом, летящим орлом — мы можем, по меньшей мере теоретически задать закон движения. Для этого нам нужны только две величины: местоположение тела в пространстве и его импульс.

Иначе дело обстоит в микромире. Для элементарной частицы нельзя одновременно с абсолютной точностью определить и местоположение, и импульс. Если в первом случае мы могли сказать, что ошибки в определении импульса и координат равны нулю, то для микрочастицы обе ошибки не могут одновременно равняться нулю. Выяснилось, что произведение этих ошибок

приближенно равно постоянной Планка \hbar . Знаменитое соотношение неопределенностей, установленное Гейзенбергом в 1927 году, так и формулируется: произведение неопределенности координаты и неопределенности импульса больше или равно постоянной Планка.

С абсолютной точностью можно узнать что-нибудь одно: или положение частицы, или ее импульс. Но чем точнее мы измерим один параметр, тем больше будет ошибка в измерении другого. Аналогичное соотношение существует и для другой «пары неопределенностей»: времени и энергии микросистем. Поистине надо быть шестируким Шивой, чтобы ухитриться одинаково точно измерить координаты и импульс частицы.

Странное поведение частиц, неведомые законы, которым они подчиняются, — все это, безусловно, говорило о существовании какой-то иной, неизвестной неклассической формы причинности, определяющей события в микромире. Но для того чтобы отождествлять микрочастицы с живыми существами, приписывать им разум, не было никаких оснований.

Изучение явлений в микромире привело, говоря другими словами, к открытию новой формы причинности — «статистической», управляющей движением элементарных частиц.

Классическая физика исходит из того, что экспериментатор знает все о силах, прилагаемых к рассматриваемой им системе тел. Только в этом случае он сможет предсказать поведение системы в каждой точке пространства в тот или иной промежуток времени.

Астрономы, например, могут с очень высокой точностью предсказывать расположение планет или звезд на много лет вперед. Но если предположить, что вдруг привычная гармония небесных тел будет нарушена совершенно неожиданным появлением новой планеты или звезды, то естественно, что астрономам придется констатировать факт крушения своих прогнозов.

Событие можно предсказать, если нет никаких не предусмотренных взаимодействий в интересующей нас системе и если она не соприкасается с другими неизученными системами. В классической физике такие системы называются изолированными. Строго говоря, таких систем нет. Все в мире в какой-то мере соприкасается друг с другом и зависит друг от друга. Но пока эксперимента-

тор имеет дело с макрообъектами, где непредусмотренные воздействия весьма ничтожны, он может с высочайшей степенью точности считать свою систему изолированной. Естественно, что, изучая теплоотдачу нагретого тела, школьник может не учитывать излучение Солнца. Оно будет как бы вне его закрытой, изолированной системы. В более точных опытах Солнце придется включить в систему, но зато звезды окажутся вне ее. Естественно, что нельзя предусмотреть всего. Но это и не нужно. Метеорологу, изучающему перемещение воздушных масс, никогда не придет в голову учитывать перемещение воздуха, вызываемое, допустим, дыханием людей или выбиваемым на улице ковром. Все это находится как бы вне его системы, настолько малы по величине изменения, вызываемые названными причинами.

Но как только мы обращаемся к миру элементарных частиц, нам приходится сталкиваться с совершенно иными условиями. Состояние каждой элементарной частицы в отличие от того, что имеет место в классической механике, целиком зависит от состояния всех окружающих ее частиц. Каждая отдельная частица — это, применяя представления классической физики, полностью неизолированная система. Поведение таких частиц прежде всего зависит от взаимодействий. А так как практически неучитываемые взаимодействия приводят к «неклассической» причинности, то и происходят всякого рода осложнения и нарушения в той предполагаемой картине, которая бы имела место при наличии классической причинности.

Законы микромира выведены на основании изучения определенной совокупности частиц и их свойств, т. е. какого-то множества или, как еще говорят, ансамбля. Частицы ансамбля находятся в тесной органической связи. Они взаимодействуют друг с другом, меняются местами, взаимопревращаются, исчезают друг в друге и друг из друга появляются. Ансамбль поэтому приобретает новое качество по сравнению с отдельно взятой частицей, что и выражается в особом статистическом характере его закономерностей. Поэтому закономерности ансамбля не могут достаточно точно отражать свойства и поведение отдельных частиц. Они позволяют определять только их вероятные возможные положения и состояния,

Первый тип взаимодействий между отдельными частицами был установлен и изучен для электрона и фотона. Сначала все было предельно просто. Закон Кулона, установленный еще в 1784 году, гласит, что сила, действующая между двумя электрическими зарядами, изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния между ними. Благодаря работам Фарадея и Максвелла было установлено, что изменение электрических сил между зарядами распространяется не мгновенно, а со скоростью света. Если изменить расстояние между зарядами, отодвинув один из них, то другой «почувствует» уменьшение электростатической силы через некоторый промежуток времени, необходимый световому кванту, чтобы пробежать расстояние между зарядами.

Взаимодействия между электрическими зарядами осуществляются посредством фотонов. Электромагнитное поле представляет собой фотоны, непрерывно испускаемые и поглощаемые заряженной частицей. Теория дает объяснение поведению электронов в электромагнитном поле, допуская, что каждый электрон непрерывно продуцирует и поглощает фотоны. Такие пульсации служат способом, с помощью которого поле и электроны оказывают друг на друга силовое воздействие.

Это основной вид взаимодействий в квантовой электродинамике. Но процесс испускания и поглощения фотонов — это яркий пример того, что называют виртуальным (возможным) процессом. Это представление характерно для квантовой теории и оно распространяется на все без исключения частицы. В виртуальном процессе подразумевается совершенно очевидное нарушение закона сохранения энергии. Чтобы понять это, не нужно забывать, что фотон тоже обладает энергией. Когда электрон спонтанно испускает фотон, то происходит как будто бы неожиданное увеличение полной энергии системы. Квантовая теория легко обходит этот подводный камень. Дело в том, что фотон испускается и вновь поглощается столь быстро, что увеличение энергии не может быть обнаружено никакими средствами, даже в принципе. Это тоже виртуальное увеличение энергии. А раз виртуальный фотон не может быть обнаружен, то и закон сохранения не нарушается, потому что согласно принципам квантовой механики ее законы приложимы только к наблюдаемым величинам. Возникает вопрос,

могут ли виртуальные фотоны из возможных превратиться в реальные? Безусловно. Но для этого нужно затратить энергию извне.

Виртуальные фотоны участвуют во всех взаимодействиях между заряженными телами и электромагнитным полем. Именно благодаря полю виртуальных фотонов электрон притягивается к протону. Однако для протонов предсказания квантовой теории не столь точны, как для электронов.

Для объяснения многих явлений микромира схема связи электрона и фотона была вполне удовлетворительна. Существование электрона и фотона как будто бы полностью описывало все внешние свойства атома: наблюдаемые заряды атомных ядер и немного менее точно их массы могли быть объяснены существованием нейтронов и протонов.

Итак, как будто бы можно было говорить о четырех «кирпичиках», из которых построено все.

Капля из «моря Дирака»

В 1928 году ученик Резерфорда английский физик Поль Дирак работал над теорией электрона. По мысли Дирака, эта теория должна быть полностью отвечать всем требованиям, которые вытекали из теории относительности. Тогда-то и было выведено замечательное уравнение, определяющее магнитные свойства электрона. Несмотря на то, что теория не расходилась с экспериментом, она насторожила многих ученых. Слишком уж в ней было много странности.

Хорошо известно, что, согласно квантовой теории, каждая микрочастица обладает волновыми, а следовательно, и частотными свойствами (частота обратно пропорциональна длине волны). Когда было решено волновое уравнение Дирака для электрона, то из этого решения получились как положительные, так и отрицательные частоты. Поскольку частоты в квантовой механике пропорциональны энергии ($E = h\nu$), то трудно было сразу сказать, что означает собой отрицательное решение. Гений Дирака увидел за математической загадкой конкретный физический смысл. Дирак высказал мысль о существовании электронов с отрицательной энергией и отрицательной массой. Под влиянием электростатиче-

ских сил такие электроны должны были бы двигаться в направлении, противоположном обычным.

Говорят, что Дирак подошел к своему уравниванию с эстетических позиций: «Оно слишком красиво, чтобы не быть верным», — сказал он. Конечно, эстетические критерии все глубже внедряются в науку. Искусство — тоже метод познания мира. Однако вряд ли эстетическая сторона проблемы была главенствующей для Дирака. Его трудно было напугать отрицательной массой. О том, что это так, говорит следующий эпизод.

Дело происходило на ежегодном студенческом конкурсе, организованном студенческим математическим обществом Кембриджа. Участники конкурса получили математическую задачу.

Трое рыбаков отправились ночью на лов рыбы. Из-за ненастной погоды лов пришлось прекратить, и приятели укрылись на крохотном необитаемом острове. Одному рыбаку не спалось. Он встал, разделил жалкий улов на три части и, забрав свою долю, решил отплыть домой. Правда, когда он делил добычу, одна рыба оказалась лишней. Поэтому, чтобы никого не обидеть, он выбросил ее в море. Перед самым рассветом проснулся другой рыбак. Он не знал, что дележ уже состоялся, и заново разделил оставшуюся рыбу на три части. У него тоже получилась лишняя рыбина, которую он тоже швырнул в воду и, сев в лодку, заработал веслами. С третьим рыбаком произошла точно такая же история. Он разделил улов на части и опять получилась лишняя рыба, которую приходится выбрасывать.

Таково условие задачи. Требовалось определить число рыб, ему удовлетворяющее.

Решение Дирака было парадоксальным. Минус две рыбы! — именно такой ответ дал молодой студент. Что же, формально он был прав. Математике нет дела до отрицательных рыб.

Нечего говорить, что термины «отрицательная энергия», «отрицательная масса» были в то время малопонятной абстракцией. В природе «отрицательные» электроны, точнее, антиэлектроны, не наблюдались, и физики не спешили с признанием «электронов — ослов» (так называли тогда дираковские электроны). Тогда Дирак построил теорию, которая стала известна под названием «море Дирака».

Представьте себе, что электроны попали на уровень с отрицательной энергией, меньшей, чем нуль. А то, что мы называем пустотой, на самом деле есть бесконечное множество таких вот электронов, которые обладают самым различным запасом энергии. Но электромагнитные и гравитационные поля этих электронов в сумме равны нулю. В этом «море» дираковских электронов, подобно пузырькам воздуха в воде, заключены дырки свободного от электронов пространства. Когда в такую дырку попадает обычный электрон, происходит взаимное уничтожение дырки и электрона. Они превращаются в фотоны, обладающие эквивалентным количеством энергии.

Наоборот, если удастся сконцентрировать достаточное количество энергии в малом объеме, как это бывает, например, при столкновении двух частиц, обладающих большими скоростями, то возможно образование пары, состоящей из электрона и антиэлектрона.

Так как антиэлектрон должен был обладать не отрицательным, а положительным электрическим зарядом, то некоторые теоретики пытались воплотить отвлеченную дираковскую идею в единственной известной тогда положительной частице — протоне.

Но и здесь возникли препятствия. Во-первых, почему в атомах протон и электрон достаточно долго «уживают-



ся» друг с другом, тогда как дираковская теория требует почти немедленного уничтожения противоположно заряженных частиц, а во-вторых, куда девается тогда разница в массе электрона и тяжелого протона?

На помощь теоретикам пришли космические лучи.

В 1932 году американский физик Андерсон, изучая с помощью камеры Вильсона космические лучи, обнаружил след, оставленный какой-то неизвестной частицей. Пути заряженных частиц в камере Вильсона под действием магнитного поля изгибаются, и по направлению кривизны можно определить знак заряда. Плотность же следов дает возможность отличить тяжелые частицы от легких.

Неизвестный след ничем не отличался от следов электронов, но направление кривизны у него было противоположным, что говорило о положительном заряде.

Так был найден первый позитрон. Вскоре после этого выяснилось, что для получения позитронов не обязательно ловить космические лучи.

Под действием потока гамма-квантов в веществе могут рождаться пары электронов и позитронов. Испускают позитроны и некоторые радиоактивные вещества в спонтанном процессе, подобном бета-распаду. Позитрон—такая же элементарная частица, как и электрон, но с противоположным знаком электрического заряда и некоторыми другими свойствами, о которых еще будет идти речь. Но, в отличие от электрона, позитрон почти не встречается в известной нам части мироздания. Это объясняется тем, что позитрон и электрон при встрече взаимно уничтожаются, рождая при этом два световых кванта. Гораздо реже появляются три или один квант. Электрон и позитрон могут рождаться и уничтожаться без всякого преобразования других частиц, участвующих во взаимодействии. Они могут возникнуть и исчезнуть даже в таком процессе, где кроме них и фотонов нет ни одной другой частицы.

Энергия кванта, рождающего электронно-позитронную пару, должна равняться сумме масс этой пары, умноженной на квадрат скорости света. А так как массы покоя электрона и позитрона очень невелики, то рождение пары может быть вызвано даже действием гамма-излучения, испускаемого радиоактивными элементами. Поэтому этот процесс точно так же, как и уничтожение

пары, наблюдался физиками задолго до изобретения ускорителей.

На полученных в камере Вильсона снимках можно видеть изображение перегораживающего камеру металлического экрана. Когда гамма-квант ударяет в экран, из него выбиваются электрон и позитрон, которые под действием магнитного поля камеры закручиваются в разные стороны. Так как массы частиц одинаковы, то и следы их движения мало отличаются друг от друга. Они напоминают длинные усы жука-дровосека.

Процесс образования пар противоположен процессу исчезновения электрона и позитрона. Так как в известном нам мире содержится очень много электронов, то естественно, что вскоре после своего рождения позитрон встречает противоположно заряженный антипод и исчезает вместе с ним, превращаясь в частицы света. Средняя продолжительность жизни позитрона 10^{-10} сек. Но в микромире это не такой уж малый срок. Как мы увидим далее, позитрон может даже считаться здесь долгожителем.

Появление открытого «на кончике пера» позитрона как будто бы не внесло особой смуты в проблему строения атома. Просто физики еще раз убедились, что у каждой странности есть своего рода материальный носитель. «Ищите новую элементарную частицу», — так можно перефразировать в применении к атому французскую поговорку. Если где-то неясно, а тем более необъяснимо, или даже вовсе невероятно — ищите новую частицу. Нашли ведь нейтрон, и не стало никаких азотных катастроф.

Но даже у идеи есть свои особые, еще не изученные законы сохранения. Что-то приобретая, мы что-то теряем. Нейтрон внес в теорию ядра не только красоту и стройность порядка, он принес с собой еще и великую смуту...

Действительно, если отказаться от наличия в ядре электронов, то как тогда объяснить явление бета-распада, самопроизвольное испускание электронов ядрами радиоактивных элементов? А открытый позднее позитронный бета-распад? Может быть, нужно создать для радиоактивных ядер особую теорию?

Но в отличие от азотной катастрофы никаких особых осложнений у физиков с «ядерными» электронами и по-

зитронами не было. Квантовая теория оказалась мощным орудием в руках теоретиков для объяснения особых, «странных» свойств, присущих микромиру.

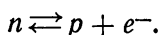
Ни электронов, ни позитронов в ядрах действительно нет. Но они могут внезапно появляться в момент испускания. Это похоже на испускание света атомами. До самого последнего момента никаких фотонов в атоме нет, но в нужное мгновение они вдруг появляются. Здесь никакой мистики нет. Вспомните хотя бы об электроне и виртуальных фотонах, о которых недавно шла речь. Конечно, могут быть и сомнения: ведь фотон все-таки в меньшей степени частица, чем электрон, который имеет хоть маленькую, но вполне конкретную массу покоя. Но не стоит забывать о великом законе Эйнштейна. Масса и энергия эквивалентны и могут взаимно переходить друг в друга. А для создания электрона и позитрона, массы которых ничтожны, требуется не так уж много энергии. Такая энергия в ядрах всегда имеется. Другое дело, что помимо массы, которая не может быть создана из ничего, у электрона и позитрона есть еще и заряды, которые тоже нужно из чего-то создать. Это «что-то» опять-таки берется за счет энергии. Но по закону сохранения заряда возникает не одна заряженная частица, а две: электрон и позитрон, алгебраическая сумма зарядов которых равна нулю.

Вот она, необходимость, присущая странности! Позитрон просто должен был существовать во что бы то ни стало, иначе... Физикам пришлось бы изобрести частицу, обладающую всеми его свойствами. Но это, конечно, парадокс. Физики не диктуют природе законы. Эти законы есть объективная реальность, которую человек познает всеми имеющимися в его распоряжении способами.

„Летучий голландец на кончике пера“

В 1934 году И. Е. Тамм выдвинул свою знаменитую теорию обменных ядерных сил. Они возникают при обмене двух взаимодействующих частиц третьей частицей, которая переносит от одной частицы к другой некоторое свойство. Это свойство может быть названо свойством тождественности. Тождественность между протоном и нейтроном. То есть теория обменных ядерных сил пред-

полагает, что протон может превратиться в нейтрон, а нейтрон — в протон. Располагая тем арсеналом частиц, который был в распоряжении физиков в тридцатых годах, мы могли бы представить себе процесс обмена так: нейтрон, представляющий собой комбинацию протона и электрона, при встрече с протоном испускает электрон. Таким образом, нейтрон превращается в протон, а протон, захватывающий электрон, в нейтрон. Это можно записать в виде обратимой реакции



Знак обратимости означает, что обе частицы как бы обмениваются своими признаками, а непрерывный обмен порождает между ними притяжение. Если принять такую схему, то протон и нейтрон можно рассматривать как два различных состояния одной и той же ядерной частицы — нуклона.

В процессе обмена не происходит ни изменений в составе ядра, ни какого-либо лучеиспускания. Но если ядро радиоактивно, а радиоактивность есть свойство нестабильных ядер с неравновесным соотношением протонов или нейтронов, то нуклоны могут изменяться и без взаимного обмена.

Если в ядре преобладают нейтроны, то стабильность достигается превращением некоторого числа нейтронов в протоны. Образовавшиеся при этом электроны уже не могут существовать в ядре и выбрасываются в виде бета-излучения. Если же в ядре наблюдается избыток протонов, то часть их должна превратиться в нейтроны за счет испускания позитронов.

Так, конечно, упрощенно можно представить себе механизм ядерного обмена. По теории обменных сил радиоактивность можно объяснить самопроизвольным стремлением атомного ядра к стабильности.

Такое объяснение механизма ядерного распада с испусканием электронов или позитронов могло бы само по себе удовлетворить физиков, если бы можно было не касаться энергетической стороны проблемы. Но именно здесь-то и таилась загадка, которая должна была разрешиться рождением новой элементарной частицы.

Энергию испускаемых атомом электронов можно определить, хотя бы измеряя величину их отклонения в магнитном поле. Тем более, что, согласно квантовой тео-

рии, энергия излучается строго определенными порциями. По крайней мере физики были вправе ожидать от бета-распада именно такого поведения. Ведь для излученных ядром альфа-частиц и гамма-квантов закон дискретности соблюдался очень строго.

Но оказалось, что испускаемые ядром данного изотопа электроны обладают не дискретным, а непрерывным спектром излучений от нуля до определенного максимального значения. Эта неожиданность осложнялась еще и совершенно необъяснимой потерей энергии. Величину энергии, высвобождаемой при бета-распаде, часто оказывается возможным вычислить из других данных. Казалось бы, она и должна представлять собой энергию испускаемых электронов. На самом же деле при каждом вычислении полной освобождаемой энергии она оказывается равной самой верхней точке на кривой спектра. Выходит, что на самом деле все электроны несут меньшую энергию. Почему? И куда девается остаток энергии? Получалось, что закон сохранения энергии к бета-распаду не применим. Закон сохранения момента количества движения или спина тоже казался поколебленным: куда-то совсем необъяснимо исчезла некоторая часть спина. Это было серьезное испытание нервов. Как это ни трудно, но приходилось, по-видимому, пересмотреть применимость законов сохранения. Трудности были настолько значительными, что Нильс Бор предлагал даже вообще отказаться от закона сохранения энергии!

Логика событий требовала «выдумать» частицу, свойства которой позволили бы объяснить парадоксы бета-распада. Швейцарский физик Паули рассуждал приблизительно так: если характеристики бета-распада не совместимы с законами сохранения, значит, этот процесс неправильно описан. В распаде должна участвовать не наблюдаемая в опыте нейтральная частица, уносящая недостающие энергию и количество движения. И хотя в каждом процессе выделяется строго определенная суммарная энергия всех частиц, она распределяется между продуктами распада так, что в разных случаях электрон получает разные порции.

Таким образом, при бета-распаде соблюдается не $n \rightarrow p + e^-$, а $n \rightarrow p + e^- + x$, где x — некая нейтральная частица. Энрико Ферми называл эту частицу «нейтрино», что по-итальянски звучит как «нейтрончик». Сей-

час эта частица называется антинейтрино. Название же «нейтрино» присвоено частице, сопутствующей позитронному распаду: $p \rightarrow n + e^+ + \gamma$, где γ — нейтрино.

Нейтрино и антинейтрино, как теперь известно, подобно фотону лишены массы покоя, обладают спином, равным половине, и, следовательно, являются фермионами.

В сумме с электроном энергия антинейтрино как раз составляет разность масс нейтрона и протона, но энергия электрона может быть самой различной, так как она по-разному распределяется от распада к распаду.

Как будто все теперь логично и строго. Законы сохранения спасены за счет увеличения количества элементарных частиц. Но все-таки нейтрино изобретено опять-таки «на кончике пера», теоретически, свойства его постулированы, а не взяты из опыта. Одним словом, нужно было экспериментально зафиксировать существование «нейтрончика». Но как? Нейтрино — удивительная частица. Сколь плохо мы ни знаем внутреннюю структуру нуклонов, это все же неизмеримо много по сравнению с нашими сведениями о нейтрино. О внутренней структуре нейтрино мы не знаем ровно ничего. Еще не умолкли споры о том, являются ли нейтрино и антинейтрино разными частицами, как электрон и позитрон, или же это одна и та же частица, как левополяризованный и правополяризованный фотоны.

Пожалуй, уместно будет остановиться на этом подробнее. Так как свет есть колебание электромагнитного поля, то можно говорить о направлении колебания электрического или магнитного вектора. Вектор может колебаться только в направлениях, перпендикулярных распространению света. Поэтому у нас есть возможность выбора одного из двух возможных направлений.

Любое же колебание в плоскости можно представить как сумму двух вращательных движений: одного по направлению движения часовой стрелки, другого — обратного направления. Отсюда возможны два типа фотонов. Движение одного можно сопоставить с симметрией обычного винта с правой нарезкой, движение другого аналогично винту с левой нарезкой. Первый фотон — левополяризованный, или, что одно и то же, обладающий правой спиральностью, второй — правополяризованный, с левой спиральностью. Для простоты их можно назы-

вать: правый фотон и левый фотон. Атом излучает одинаковое количество левых и правых фотонов, поэтому в природе, вероятно, они распределены поровну.

Поляризация фотонов, переданная с помощью аналогии с винтом, похожа на характеристику спина, определяемую волчком. В сущности винт — это дополнение к вращению волчка поступательного движения. Винт — это волчок, летящий в направлении своей оси.

Но возвратимся к нейтрино. Неуловимость этой частицы кроется не только в отсутствии массы покоя и заряда, но главным образом в невероятно высокой проникающей способности. У нейтрино среди известных нам обитателей микромира соперников нет. Это частица-чемпион, если не сказать: частица-призрак. Она может беспрепятственно пронизывать огромные толщи вещества. Полагают, что ее вряд ли сумеет поглотить даже чугунная плита, толщина которой в миллиарды раз превышает расстояние от Земли до Солнца.

25 лет прошло со времени «теоретического» рождения нейтрино до того, как существование этой частицы было доказано экспериментом.

Академик Б. М. Понтекорво заметил как-то, что за это время нашлись люди, забывшие, что нейтрино вполне материально и в принципе доступно регистрации, что его «ненаблюдаемость» временная, вызванная лишь трудностями, связанными с уровнем тогдашней техники.

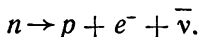
Чтобы охарактеризовать всю неимоверную трудность, даже дерзновенность задачи поимки нейтрино, можно написать число с колоссальным количеством нулей, которое выразит длину его свободного пробега в каком-нибудь поглотителе. Это значит, что через километр твердого вещества надо пропустить миллион миллиардов нейтрино, чтобы лишь одному из них дать шанс вызвать какой-нибудь эффект. И эта казавшаяся совершенно невыполнимой задача была решена.

А. И. Лейпунский заметил, что если наблюдать отдачу протона — скорость, с которой он образуется, то, естественно, отдача должна быть разной в зависимости от того, «выстрелен» ли один лишь электрон или электрон вместе с нейтрино. Измерив скорость протонов, можно убедительно судить об одной или же двух частицах, которые вылетают при распаде.

Этот оригинальный опыт не был проделан Лейпунским только потому, что уровень экспериментальной техники в то время не был достаточно высоким. Лишь в 1948 году Аллен сумел осуществить этот тонкий эксперимент. Но, несмотря на красоту и точность эксперимента, вопрос о взаимодействии нейтрино с веществом оставался открытым. По-прежнему над физиками довлел призрак чугунной доски в сотни световых лет толщиной. Казалось, что в земных масштабах эксперимент невыполним.

На помощь физикам-теоретикам пришли... Нет, не космические лучи, а достижения коллег. Только интенсивное развитие нейтронной физики, связанное с техническим освоением атомной энергии, дало возможность провести один из замечательных экспериментов нашего века.

В атомном реакторе, или «котле», будь он установлен в лаборатории института, на борту атомохода «Ленин», атомной электростанции или на заводе, производящем ядерное горючее, совершается один основной процесс: деление ядер радиоактивного вещества нейтронами. В каждом акте деления образуется несколько ядер, обладающих бета-радиоактивностью. Если нейтрино действительно существует, то в этих ядрах нейтроны должны распадаться согласно уже известной нам реакции



Допустим, у нас есть атомный реактор в 300 тысяч киловат мощностью. Полный поток энергии, уносимый от него антинейтрино, составит десятки тысяч киловатт. Это очень много. Но даже здесь поймать частицу-призрак очень трудно.

Калориметрические эффекты здесь неприменимы. Ведь для того чтобы хоть половина энергии, принесенной потоком антинейтрино, могла высвободиться в виде тепла, нужен поглотитель массой 10^{60} тонн. Это на много нулей превышает массу Вселенной.

Но если нельзя зафиксировать нагрев вещества, то можно попытаться регистрировать отдельные события, вызванные антинейтрино.

Теоретики предсказали интересный ядерный процесс, который, если только существуют нейтрино и анти-

нейтрино, вызван исключительно ими. Этот процесс обратен бета-распаду $\bar{\nu} + p \rightarrow n + e^+$.

Все частицы здесь нам известны, а возможность встречи антинейтрино с ядром атома водорода отрицать не приходится. Если такой процесс действительно существует, то вероятность его нетрудно подсчитать. Если эксперимент регистрирует тот же порядок величин, который дан в расчете, то можно будет сказать, что опыт удался, антинейтрино существует.

Достаточно же мощный источник антинейтрино у нас есть. Это тот же реактор. Каждую секунду он испускает $5 \cdot 10^{19}$ антинейтрино. На расстоянии 10 метров от реактора на каждый квадратный сантиметр приходится 10^{13} антинейтрино в секунду. Бомбардируя таким потоком тонну водородсодержащего вещества (средоточие протонов), мы, согласно расчетам, должны регистрировать каждый час 100 превращений протонов в нейтроны.

Теоретические предпосылки блестяще оправдались. В 1957 г. американские физики Райенс и Коуэн осуществили этот интереснейший эксперимент.

Поток нейтрино направлялся в цистерну с водородсодержащим веществом, дающим сцинтилляции при прохождении электрически заряженных частиц. Каждая сцинтилляция в поглотителе регистрировалась чувствительным фотоэлементом.

Как только антинейтрино встречалось с протоном, последний превращался в нейтрон и позитрон. Позитрон давал сцинтилляцию и регистрировался фотоэлементом. Зато нейтрон отправлялся в путешествие внутри вещества, постепенно теряя скорость. Когда же его скорость падала до тепловых значений, он захватывался атомом вещества. Такой захват повышал энергию атома и, естественно, сопровождался испусканием гамма-квантов, которые тоже регистрировались. Таким образом, каждое взаимодействие антинейтрино с протоном сопровождалось двумя световыми вспышками. Первая вспышка регистрировалась мгновенно, вторая — с некоторым запазданием. Чтобы не пропустить ни одной световой вспышки, исследователям пришлось использовать свыше ста фотоумножителей. Это был первый случай, когда для исследований в области ядерной физики был применен поглотитель таких огромных размеров. Эти размеры были продиктованы инертностью антинейтрино. Сцинтилля-

тор меньших объемов давал бы исследователям очень маленькое число регистрируемых событий. Достаточно сказать, что только на подготовку этого уникального по трудности эксперимента потребовалось свыше пяти лет!

Чтобы окончательно решить вопрос о существовании нейтрино, требовалось еще и убедительное доказательство того, являются ли нейтрино и антинейтрино разными частицами. Б. М. Понтекорво предложил это выяснить оригинальным образом.

Прежде всего, что же мы называем антинейтрино и что нейтрино? До сих пор антинейтрино у нас была частица, которая в бета-распаде испускается вместе с электроном. Другой же вид распада, так называемый бета-плюс-распад, характеризуется самопроизвольным превращением протона в нейтрон, позитрон и нейтрино. Вопрос о терминологии не случаен. В сущности мы бы могли переименовать частицы и наоборот. От этого ровно ничего бы не изменилось. Более того, можно считать, что электрон обладает положительным зарядом, а позитрон — отрицательным. Мир от этого тоже не изменится. Главное — правильно понимать различия в сущности, а не в терминологии. Но чтобы не путаться и говорить единым языком со всеми физиками, нам нужно условиться и о терминах тоже. Правда, отделив нейтрино от антинейтрино, мы пока еще не ответили на поставленный вопрос, тождественны или же по каким-то физическим характеристикам различны эти частицы. Когда мы расскажем далее, что у элементарных частиц кроме электрического могут быть и иные типы зарядов, смысл этого вопроса будет ясен окончательно. Пока же ограничимся лишь одним малопонятным термином: «нейтринный заряд». Вот этот-то нейтринный заряд и требовалось определить. Или нейтрино и антинейтрино обладают противоположными «нейтринными зарядами» — тогда это две разные частицы, или же они истинно нейтральны — в этом случае частица одна.

Принцип эксперимента можно уяснить из следующих реакций:

$$\nu + p \rightarrow n + e^+,$$

$$\bar{\nu} + n \rightarrow p + e^-.$$

Обе реакции получены из уже известных простой заменой нейтрино на антинейтрино и наоборот. Если различие между частицами носит лишь формальный характер, то естественно, что реакции осуществимы. Зато если нейтрино отлично от антинейтрино, то реакции невозможны.

Для однозначного ответа на этот вопрос вполне достаточно проверить лишь одну из реакций. Это тем более удобно, что интенсивных поставщиков нейтрино у нас нет в отличие от урановых котлов, дающих мощный поток антинейтрино. Поэтому нам ничего не остается, как выбрать для проверки вторую реакцию.

Эта проверка должна быть аналогичной эксперименту Райенса и Коуэна. Разница лишь в том, что если водород содержит протоны и не содержит нейтроны, то источника чистых нейтронов у нас нет. В любом веществе содержатся и протоны тоже. Но разница эта не принципиальная. Ведь для того чтобы изучить реакцию на нейтронах, находящихся внутри атомного ядра, нужно существенно усложнить уже известный нам эксперимент.

Такой опыт и был недавно поставлен американцем Девисом, изучавшим взаимодействие антинейтрино с ядрами хлора-37. Оказалось, что процесс $\bar{\nu} + \text{Cl} \rightarrow \text{Ag} + e^-$ не осуществляется. Следовательно, нейтрино и антинейтрино — различные частицы, обладающие противоположными знаками «нейтринного заряда». Впрочем, «нейтринный заряд» — это не единственное отличие нейтрино от антинейтрино.

Космические скитальцы

Ядерная физика и физика элементарных частиц начиная с 1932 года, когда был открыт позитрон, оказались неразрывно связанными с исследованием космических лучей. Охотники за космическими лучами в погоне за добычей поднимаются на аэростатах, карабкаются на пики гор, спускаются в океанские глубины и шахты, запускают воздушные шары и космические ракеты. И это не удивительно. Природа обладает неизмеримо большими «экспериментальными» возможностями, чем самая лучшая физическая лаборатория. В космических лучах обнаружены частицы с энергиями в миллионы раз больше,

чем дают возможность получить даже самые совершенные ускорители. А ведь именно в мире высоких энергий проложена тропа, которая ведет к великой тайне под названием «истинная структура вещества». Без высоких энергий нам никогда не удастся сблизить частицы на расстоянии в сотые доли ферми (10^{-13} см), чтобы ответить, наконец, на коренной вопрос физики: почему существует так много частиц, которые мы называем элементарными.

Еще в первые годы, последовавшие за открытием естественной радиоактивности, было замечено, что даже при отсутствии радиоактивных источников существует какой-то небольшой, но вполне определенный ионизационный фон.

Обнаружить этот фон можно было даже на самом простейшем приборе электроскопе. Листочки заряженного электроскопа сами опадали со временем. Под действием какой-то таинственной ионизации заряд на них постепенно нейтрализовался. Какие только меры ни принимали исследователи, чтобы герметизировать электроскоп, защитить его от воздействия радиации и рентгеновского излучения! Но все было тщетно — листочки опадали.

Первые идеи оказались противоположными действительной природе ионизированного фона. Кто-то предположил, что источник проникающего в электроскоп излучения — почва. Это было легко проверить. Естественно, что толщина атмосферы должна ослаблять излучение. Чтобы доказать это, нужно было поднять прибор выше и проверить, насколько уменьшится фон.

В 1909 году молодой австрийский физик Виктор Гесс запустил воздушный шар с регистрирующими приборами, чтобы измерить интенсивность радиации на различных высотах. Баллон поднялся на высоту около 5000 м и, вопреки всем ожиданиям, радиация там оказалась не только не ослабленной, но в тридцать раз более высокой, чем над уровнем моря. Так были обнаружены, говоря языком тех лет, «высотные лучи», падающие на Землю из мирового пространства. Никакого особого впечатления это фундаментальное открытие не произвело. Вплоть до 1932 года исследование космического излучения никак не связывалось с коренными проблемами физики. Разработка модели атома, развитие квантовой

теории и теории излучения шли своим чередом, а космические лучи интересовали только некоторых метеорологов.

Более того, многие ученые вообще подвергли сомнению само существование «высотных» лучей.

Понадобилось своего рода вторичное переоткрытие космических лучей, чтобы возбудить к ним определенный интерес. Этому в большей мере способствовали интересные работы ленинградца Л. В. Мысовского, исследовавшего интенсивность космического излучения на различных подводных глубинах. Большую роль сыграли также предложенные Боте и Кольхерстером счетчики для регистрации лучей и полученные в 1928 году Д. В. Скобельцыным первые фотографии космических лучей в камере Вильсона.

Но о природе лучей почти ничего не было известно. Шли горячие споры, высказывались самые противоречивые гипотезы. Милликен, например, предположил, что космические лучи — это поток гамма-квантов или же быстрых электронов. Картина была довольно туманна, тем более что оказалось невозможно оценить даже энергию первичных космических лучей.

Голландскому физiku Клею, правда, удалось обнаружить эффект изменения интенсивности космического излучения под влиянием магнитного поля Земли, но полученные им данные плохо согласовались с другими наблюдениями, зачастую отрывочными и противоречивыми.

Но после того как именно космические лучи столь неожиданно подтвердили блестящую идею Дирака, наступил переломный момент. Артур Комптон организует многочисленные экспедиции в самые различные уголки Земли. Измерения интенсивности излучения на разных широтах раз и навсегда подтверждают существование геомагнитного эффекта Клея. Это имело решающее значение. Раз в экваториальных широтах интенсивность излучения на 10% слабее, чем вблизи полюса, то магнитное поле Земли отклоняет какую-то часть космических лучей. И эта часть, конечно, заряженные частицы. Особенно ярко геомагнитный эффект сказался в полярных сияниях, которые, как известно, связаны с более медленными электронами. Несколько позднее был открыт так называемый восточно-западный эффект, выра-

жающийся в зависимости интенсивности излучения от ориентации прибора.

Англичанин Блэккет и итальянец Оккиалини сконструировали камеру Вильсона, управляемую счетчиками заряженных частиц. Такие камеры приходили в действие лишь в случае прохождения реальных космических частиц и давали уже не снятые наудачу, зачастую случайные фотографии.

Именно они позволили запечатлеть на пленке след первого позитрона. Позднее Блэккет и Оккиалини получили уникальные фотографии целых «ливней» электронов и позитронов. Оказалось, что подобные каскадные ливни являются характерным признаком прохождения фотонов и электронно-позитронных пар через вещество. Эта работа вызвала сенсацию. Здесь шла речь не только о новом явлении в микромире и даже не о сбывшемся предсказании новой частицы. Главное было в том, что научная абстракция неожиданно воочию предстала перед изумленными глазами ученых. Способность электрона и позитрона порождаться за счет энергии гамма-лучей и уничтожаться с превращением в гамма-кванты была документально подтверждена беспристрастным свидетелем — фотопластинкой. В науку окончательно было введено новое фундаментальное свойство: присущая всем частицам способность к превращениям.

Но вернемся к космическим лучам. Фрагменты из их пока еще короткой истории — это все же не рассказ об их природе и поведении. А нас, пожалуй, более всего интересует именно эта глава, которая полноправно входит в теоретическую физику, в астрофизику, в астрономию и, вероятно, вскоре войдет еще в прикладную астронавигацию.

Все космические тела в галактиках — звезды, межзвездная пыль и газ, планеты и метеориты — движутся с весьма умеренными относительными скоростями, не превышающими сотен километров в секунду. Но частицы различного заряда и различной массы, составляющие космические лучи, — это частицы «релятивисты». Во всех направлениях они пронизывают пространство со скоростью, близкой к световой. И если физики часто говорят о самых тяжелых и медленных обнаруженных у поверхности Земли частицах, то полезно помнить, что ско-

рость этих «медленных» частиц превышает 100—200 тысяч километров в секунду.

Все большее место занимают космические лучи в современной науке. И дело здесь не только в том, что они проливают свет на недоступный нам пока еще мир взаимодействий элементарных частиц при высоких энергиях. Интересно другое, мало исследованное, но, вероятно, не случайное обстоятельство. Плотность энергии космических лучей в межзвездном пространстве оценивается приблизительно такой же величиной, как и плотность энергии магнитного поля, которому придают все большее значение в проблемах происхождения и формирования галактик.

Космические лучи характеризуются очень широким энергетическим спектром. Здесь и частицы с энергиями порядка 1—10 Гэв, и такие, энергии которых превышают возможность самого большого ускорителя в мире, и, наконец, «энергетические миллиардеры», достигающие, на зависть ядерщикам, 10 000 000 000 Гэв!

Врываясь в атмосферу Земли, частицы сталкиваются с ядрами атомов атмосферных газов и превращаются в потоки вторичных корпускул. Поэтому первичное космическое излучение почти не достигает земной поверхности.

Энергетический спектр первичных частиц определяется по их отклонению в магнитном поле Земли. Частиц с энергией меньше 0,2—0,4 Гэв в первичных лучах не обнаружено. В этом прежде всего замешано Солнце. Несоущиеся от него корпускулярные потоки и распространяющиеся магнитные поля, подобно ветру, подымающему легкую пыль, выдувают за пределы Солнечной системы частицы с низкой кинетической энергией. Больше всего в лучах частиц с энергией до 10 Гэв (такой энергией обладает синхрофазотрон в Дубне). Но частицы с энергией, превышающей 10^{15} эв, довольно редки.

Поэтому, чтобы все-таки поймать частицы с такой колоссальной энергией, исследователям приходится создавать установки с эффективной поверхностью в несколько квадратных километров. В этом случае удастся обнаружить частицу с энергией 10^{19} эв приблизительно раз в сутки. Обладающие такой колоссальной энергией микрочастицы как бы перекидывают мост в макромир. Ведь энергии в 10^{19} эв достаточно, чтобы лампочка в 1 ватт

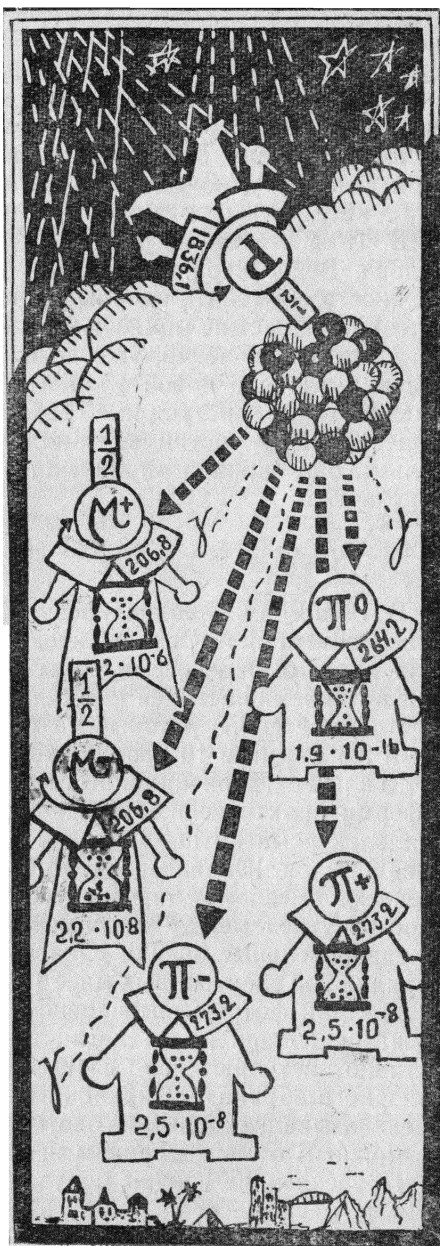
горела полторы секунды! Это вполне макроскопический эффект.

Для изучения структуры пространства было очень интересно узнать, существует ли какое-то предпочтительное направление движения космических лучей. Предполагалось, что лучи могут преимущественно распространяться в плоскости Галактики или же в направлении оси одного из ее ответвлений, где находится наше Солнце.

Однако космическое излучение в Галактике оказалось изотропным. Точные измерения показали, что к Земле со всех сторон подходит одинаковый поток космических лучей.

Какого же происхождения эти частицы? Где находятся источники, непрерывно извергающие их в черную бездну пространства? Мы ответим на эти вопросы позднее.

Мы оборвали наш рассказ о природе ядерных сил,



поскольку логика повествования требовала упомянуть о «придуманной» Паули частице нейтрино. Мы увели читателя на четверть века вперед до той поры, когда существование нейтрино и антинейтрино было экспериментально доказано. Теперь мы, естественно, возвращаемся к тому моменту, когда И. Е. Тамм развил теорию обменных ядерных сил (с учетом нейтрино). Расчеты И. Е. Тамма, а также работы Д. Д. Иваненко, А. А. Соколова, Вейцекера, Венцеля и других показали невозможность объяснить ядерные силы обменом известных в то время частиц малой массы — электронов и нейтрино. Читатель, конечно, уже догадался, что ему придется познакомиться с новой элементарной частицей. Физики именно так и поступили. Убедившись, что с помощью существующих частиц внутриядерные процессы описать нельзя, они сначала «придумали», а потом открыли новую частицу.

Частицы в разрезе

В 1935 году двадцативосьмилетний преподаватель университета в г. Осака Хидеки Юкава выдвинул смелую идею о переносе ядерных сил новой, неизвестной еще в то время частицей — мезоном.

Ядерные силы, которые на расстоянии между нуклонами 2,6 ферми в 10 раз сильнее электростатических и в 10^{37} сильнее гравитационных, уже на расстоянии 3 — 4 ферми практически обращаются в нуль, а радиус действия электромагнитных сил бесконечен. Исходя из этих предпосылок, Юкава предположил, что масса мезона (по гречески «мезос» — промежуточный) должна лежать в «промежутке» между массами электронов и нуклонов. Предварительные оценки Юкавы дали для мезона массу порядка 200 электронных масс (э. м.).

Так как фотоны интенсивно взаимодействуют с электронами, Юкава по аналогии предположил, что мезоны активно вступают во взаимодействие с носителями «ядерного заряда» — нуклонами. Спин новой частицы предсказывался целым, благодаря чему оказывался возможным обмен единичными квантами.

Предсказание Юкавы получило подтверждение, когда в 1937 году Андерсон вместе с Неддермайером, а также Стрит и Стивенсон обнаружили на вильсоновских фото-

графиях космических лучей следы новых положительно и отрицательно заряженных частиц.

Несколько смущало только то, что были найдены лишь заряженные частицы, но не обнаружено мезона нейтрального, без которого обойтись трудно. Протон мог излучать только положительный мезон и превратиться в нейтрон, а излученный мезон мог поглощаться только нейтроном, который после этого превращался в протон. В противном случае протон превращался бы в дважды заряженную частицу, которая не существует в природе, а нейтрон превращался бы в антипротон (о нем еще будет идти речь), что запрещено одним из законов сохранения. Единственный обмен между двумя нуклонами мог осуществляться следующим образом: $p \rightarrow n + \text{положительный мезон}$ и $\text{положительный мезон} + n \rightarrow p$.

Для того, чтобы объяснить присущую ядерным силам зарядовую независимость и возможность обмена между одноименными частицами, нужен был незаряженный мезон. С великим упорством искали этот мезон физики. Даже имя ему придумали — нейтретто, но так до сих пор не нашли. Кстати сказать, открытые в космических лучах мезоны сначала получили наименование мезотронов, по аналогии с электронами. Но потом заметили, что слово «электрон» берет начало от греческого «электрос», в то время как в мезотроне к «мезо» почему-то добавляется никакому языку не принадлежащее «трон», тогда решили назвать просто «мезоны».

Теперь мы знаем, что были мю-мезоны, или мюоны (μ^+ и μ^-). Мюоны довольно быстро распадаются. Среднее время их жизни $2 \cdot 10^{-6}$ сек. Их масса равна 206 э.м. Распадаются они следующим образом:

$$\begin{aligned}\mu^+ &\rightarrow e^+ + \nu + \bar{\nu}, \\ \mu^- &\rightarrow e^- + \nu + \bar{\nu}.\end{aligned}$$

Дальнейшее исследование мюонов показало, что они никак не могут быть квантами ядерного поля. Они практически не вступают во взаимодействие с нуклонами. Как видно из схем их распадов, мюоны подчиняются статистике Ферми—Дирака, их спины оказались равными половине. Поэтому они не могут рождаться поодиночке и сами по себе переносить ядерные взаимодействия.

Но иллюзии рассеивались медленно. Окончательная невозможность рассматривать мюоны в качестве квантов ядерного поля выяснилась только в 1946 году, когда итальянские физики Конверси, Панчини и Пиччиони обнаружили очень слабое взаимодействие мюонов с атомными ядрами и ничтожную вероятность их поглощения нуклонами.

Чтобы выйти из этого затруднительного положения, японский физик Саката и американские ученые Бете и Маршак высказали предположение о существовании иных мезонов, способных переносить ядерные силы.

В 1947 году Пауэлл, Окиалини и Латтес обнаружили на специальных фотопластинках с толстослойной эмульсией след новой космической частицы, которая энергично взаимодействовала с нуклонами. Так были обнаружены заряженные кванты ядерного поля. Они получили название пи-мезонов, или пионов (π^+ , π^-). Масса пионов 273 э. м. За открытие заряженных π -мезонов Поуэллу была присуждена Нобелевская премия. В 1950 году был, наконец, обнаружен и нейтральный пион (π^0) с массой 264 э. м.

Время распада заряженных пионов составляет $2,5 \cdot 10^{-8}$ сек, нейтральный мезон живет неизмеримо меньше — около 10^{-15} сек. Заряженные пионы распадаются на мюоны и нейтрино:

$$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu,$$

$$\pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}.$$

Нейтральный пион превращается в фотоны:

$$\pi^0 \rightarrow 2\gamma.$$

Эти фотоны при столкновении с ядром могут породить электронно-позитронную пару. Такая реакция в свое время и навела исследователей на след непосредственно не регистрируемой нейтральной частицы π^0 .

Вопреки предсказанию Юкавы спин всех трех видов пионов оказался равным нулю.

В отличие от мюонов, электронов и позитронов пионы бурно вступают во взаимодействие с нуклонами. Они легко поглощаются нуклонами и при подходящих условиях легко излучаются. Поэтому нуклоны всегда окружены пи-мезонным полем, подобно тому, как заряженная частица окружена электромагнитным полем. Пионы спо-

способны вызвать мощные ядерные взаимодействия, значительно превосходящие по интенсивности электромагнитные, гравитационные и все другие известные в природе силы.

Полезно отметить здесь, что взятый нами термин «ядерные взаимодействия» употребляется не всегда. Большей частью принято говорить: сильные взаимодействия. Кроме сильных взаимодействий различают еще три класса: слабые, электромагнитные и гравитационные взаимодействия. Физики характеризуют вид взаимодействий особой константой связи $2g^2\pi/\hbar c$.

Сильные взаимодействия, обусловленные пи-мезонным полем, характеризуются самой высокой константой, приблизительно равной 15. Электромагнитные, осуществляемые квантами электромагнитного поля, — это несравненно более слабый вид взаимодействий (константа: $1/137,03$). Слабые, обусловленные полем электронов и нейтрино, обычно проявляются при бета-распаде или при распаде мезонов. Слабым взаимодействиям всех типов соответствуют очень малые константы связи ($\sim 10^{-11}$). Наконец, гравитационные взаимодействия, еще менее интенсивные, чем слабые, характеризуются гравитационным «зарядом» $\sqrt{\chi m}$, где m — масса частицы, χ — гравитационная постоянная. Даже для самых тяжелых из известных нам элементарных частиц константа связи не превысит величину 10^{-48} . Это на тридцать семь порядков «слабее» слабых взаимодействий!

Пока нас интересуют лишь сильные взаимодействия, которые и обуславливают притяжение между нуклонами. Благодаря обмену пи-мезонами протон и нейтрон претерпевают непрерывные взаимопревращения, которые по сути дела согласуются с первоначальной схемой Тамма, с той лишь разницей, что вместо электронов и нейтрино роль «переносчиков» качества выпадает на долю пионов. Но как раз именно эта разница очень существенна! Обмен между протоном и протоном, а также между нейтроном и нейтроном осуществляется за счет нейтральных пионов. Именно благодаря ему получила объяснение присущая ядерным силам зарядовая независимость.

Нуклоны излучают и поглощают пионы, но это не значит, что пионы в каком-то виде входят в состав протонов и нейтронов. Точно так же дело обстоит у нас и с электронами, способными излучать и поглощать световые

вые кванты. Такая странность присуща квантовому миру, и к ней нужно привыкнуть.

Для того чтобы «прощупать» внутреннюю структуру нуклонов, физики решили использовать ускоренные электроны или особо жесткие гамма-лучи. Первые же опыты показали, что зарядовая плотность протона очень плавно убывает к периферии. Что же касается нейтрона, здесь обнаруживают интересное и странное явление: электрический радиус его оказался равным нулю или, во всяком случае, во много раз меньшим, чем у протона. Это значит, что нейтрон или нацело нейтрален, или внутри его электрический заряд сосредоточен на расстоянии в десятки раз меньшем, чем у протона. И вообще нуклоны оказались похожими на планету Сатурн. Центральная область — сердцевина — окружена у них облаком пионов, которое часто называют «мезонной шубой». Если сердцевина положительна, а «шуба» состоит из нейтральных пионов, — это протон. Если облако состоит из отрицательных пионов — нейтрон. Но сердцевина протона может быть и нейтральной, только «шуба» тогда будет из положительных пионов. А нейтронное нейтральное ядро окружают соответственно нейтральные пионы.

Известно, что при бомбардировке нуклонов частицами высокой энергии может протекать процесс рождения мезонов. Но это не значит, что с нуклонов сдирается «шуба» и сердцевина остается обнаженной. Нуклон сохраняет свой первоначальный вид. С него ничего не стоит спустить легендарные «семь шкур» — сердцевина все равно не будет голой. И дело здесь не в том, что запас пионов у нуклонов неисчерпаем. Способность рождать пионы отнюдь не означает, что они содержатся внутри нуклонов.

Одна нуклонная структура постоянно переходит в другую; протон и нейтрон являют собой смесь всевозможных состояний каждого из них. Однако картина нуклонных сердцевин, укутанных в мезонные шубы, не соответствует данным, говорящим о резком различии электрических радиусов протонов и нейтронов. О том, что сердцевина нейтрального нейтрона может быть положительно заряжена, мы уже говорили.

Советские ученые Д. И. Блохинцев, В. С. Барашенков, В. М. Барбашов предложили свою теорию электромагнитного строения нуклонов. Эта теория полностью

согласуется с экспериментальными данными. Она предполагает наличие двух видов распределения электростатической плотности: для нуклона в целом и отдельно для его сердцевины. Протон более электроположителен, чем его сердцевина. Последняя, как уже говорилось, может быть и нейтральной. Сердцевина нейтрона соответственно тоже или нейтральна, или положительна (в «шубе» из отрицательных пионов). Из этого следует, что внутри нейтрона существуют различные внутренние области. В одних областях находится положительный заряд, в других — компенсирующий его, отрицательный. Вот насколько сложным оказалось строение нуклонов. Но физики считают, что за подобной сложностью могут скрываться довольно простые вещи. Но найти их и понять мы сможем только через все самые «сложные сложности», подобно тому как построить гипотезы о единстве элементарных частиц можно было, только открыв их целое множество. В самое последнее время появились сведения, что нейтрон все-таки нацело нейтрален.

Опыты по рассеянию нуклонов на нуклонах показали, что сердцевина нуклона, или, как говорят еще, керна обладает радиусом около 0,2 ферми. Керна двух нуклонов очень сильно отталкиваются. Природа сил отталкивания, не связанная с действием обменных мезонных сил, пока не ясна. В керне сосредоточено около 80% массы нуклона. Остальное вещество образует довольно рыхлую мезонную «шубу».

Вообще проблема строения элементарных частиц претерпела любопытную эволюцию. В самом начале развития электронной теории никто не сомневался, что электрон имеет определенные размеры и, следовательно, внутреннюю структуру. Вся проблема, казалось, заключается лишь в экспериментальном установлении формы распределения заряда внутри определенного, «классического» радиуса. Но вскоре выяснилось, что такие наивные представления о структуре частиц вступают в неразрешимые противоречия с принципами теории относительности. Пришлось оставить модель электрона, напоминающую крохотную планетку. И все же некоторые физики были уверены, что электрон точечный, а не размазанный в пространстве — времени.

Сейчас уже нет сомнений в ошибочности подобных представлений. В арсенале современной физики доста-

точно средств и способов для изучения структуры частиц.

В работах, которые проводятся в Дубне, одним из способов изучения структуры протона является исследование упругости рассеяния на протонах пионов высоких энергий:

$$\pi + p \rightarrow \pi + p.$$

Типичен случай, когда первичный пион лишь чуть-чуть отклоняется от начального направления полета и отдача протона незначительна. Такой процесс не может, конечно, разыгрываться в очень малой пространственно-временной ячейке. Оценка показывает, что размер системы пион+протон в этом случае примерно 10^{-13} см.

Более детально картину упругого рассеяния пиона на нуклоне можно представить себе следующим образом. Протоны так интенсивно поглощают пионы, что протон можно рассматривать в качестве почти «черного» шарика, поставленного на пути пионного пучка. Рассеяние пионов в этом случае является следствием их дифракции на «черном» шарике. Измерив величину рассеяния, мы можем судить и о размерах шарика, и о коэффициенте поглощения мезонов. Такие опыты были неоднократно проделаны. Они показали, что поглощение резко увеличивается в центре нуклона и быстро спадает к периферии примерно при $r=0,5 \cdot 10^{-13}$ см.

Структуру нуклонов определяют и рассеянием на них электронов. Этот метод дает возможность установить распределение заряда внутри ядерной частицы и наличие там электрического тока. Интересно, что спад зарядовой плотности начинается в той же области, где происходит резкое уменьшение коэффициента поглощения пионов.

Теоретический расчет плотности заряда в нуклоне привел к представлению о существовании трех областей: ядра нуклона (10^{-14} см), пионной атмосферы (10^{-13} см) и пионной стратосферы ($<10^{-13}$ см). Теперь нельзя уже говорить просто о пионной шубе. Эта шуба приобрела тонкую структуру и уподобилась газовой оболочке, окружающей планеты.

После экспериментального установления структуры нейтрона и протона можно было предположить, что и другие тяжелые частицы обнаружат сходное строение. Другое дело такие частицы, как пионы или каоны. Здесь

физики не располагают необходимым опытным материалом, хотя некоторые косвенные данные позволяют говорить о структуре и этих частиц.

Меньше всего нам известно о строении электрона. Кажется, что может быть проще. Этот ветеран микромира известен уже давно. Получить его не составляет никакого труда — это умели еще древние греки, электризовавшие янтарь овечьей шерстью. И тем не менее на сегодняшний день можно лишь гадать о структуре атома электричества. Природа не поскупилась на парадоксы в микромире. Самое, казалось, бы, простое оборачивается сложным. Частицы неисчерпаемы. И если человеку на какой-то момент кажется, что он знает о них почти все и нужен лишь последний крохотный шаг к абсолютному знанию, перед ним вдруг раскрывается бездна. И вновь схватка с неведомым, и вновь построение более общих теорий. Если верить современной теоретической электродинамике, то электрон должен быть поистине колоссом среди частиц. Его диаметр в этом случае по крайней мере в 100 раз больше (10^{-11} см), чем это можно было ожидать, исходя из классической физики. Но, сразу же оговоримся, что под диаметром электрона физики понимают отнюдь не диаметр шарика; 10^{-11} см — это размер пространства вокруг электрона, в котором поляризуется вакуум. Впрочем, можно сказать и по-другому: 10^{-11} см — это величина атмосферы вокруг электрона, состоящей из электронов и позитронов. Но из-за слабости электромагнитных взаимодействий атмосфера эта (употребим еще одно рожденное силой аналогии понятие) крайне разрежена. Если пионная атмосфера вокруг нуклона может быть уподоблена земной, то электрон со своей «газовой» оболочкой больше напоминает Марс. Поэтому-то пока нет ни одного прямого опыта, который однозначно подтвердил бы такую структуру электрона.

Но сомневаться в теории оснований нет. И не только потому, что теоретическая электродинамика разработана лучше любой другой теории поля. Некоторые весьма тонкие смещения уровней в атоме водорода свидетельствуют в пользу «марсианской» атмосферы электрона.

Возможно, новые сведения о структуре электрона не заставят себя долго ждать. Они могут быть получены в самое ближайшее время из опытов по столкновению электронов на встречных пучках.

Псевдоатомы

Начиная еще с классических опытов Резерфорда физики на протяжении четырех десятилетий стремились любым путем разрушить атомное ядро. Непрерывные бомбардировки атомов с помощью самых различных частиц помогли науке разобраться в сложном строении ядер, понять, какими законами и силами живет микромир. Не будь физики так упорны в своем старании разбить атомное ядро, человечество не располагало бы сейчас ни ядерной энергией, ни многими из искусственных радиоактивных изотопов. Не говоря уже о том, что большинство элементарных частиц обязано своим открытием именно такого рода бомбардировкам. Период бомбардировки атомных ядер — это период разрушения. Его можно уподобить тщательному и кропотливому анализу. Но после анализа в науке всегда наступает период синтеза.

Поэтому здесь мы расскажем о создании искусственных атомов.

Когда мы рассказывали об открытии позитронов, то обратили внимание на одно интересное обстоятельство. Дело в том, что электрон и позитрон чаще всего аннигилируют на два кванта, и гораздо реже на три или один. Немного позже мы дадим этому объяснение. А пока предлагаем вниманию читателя первый искусственный атом — позитроний.

Позитроний образуется в момент встречи позитрона и электрона до начала их аннигиляции. На ничтожную долю секунды частица и античастица образует неустойчивую атомную структуру. Они пускаются в бешеный хоровод вокруг общего центра масс. Они гоняются друг за другом, как два гладиатора, каждый из которых стремится найти уязвимое место противника и нанести ему смертельный удар. Электрически позитроний подобен атому водорода, где электрон вращается вокруг протона. Но так как позитрон весит столько же, сколько и электрон, такой искусственный атом будет приблизительно в 1000 раз легче водорода. Зато диаметр позитрона раза в два превысит диаметр атома водорода. Время существования позитрония в одних случаях измеряется десяти-миллионными долями секунды, в других — десятиллиардными. Но даже за этот ничтожный отрезок времени

наши «гладиаторы» успевают сделать около миллиона оборотов. Эта погоня оказывается смертельной для обоих: так и не прикоснувшись друг к другу, они аннигилируют — превращаются в световые кванты.

Почему же все-таки при аннигиляции чаще всего образуется именно два и более фотонов, а не один? Здесь действует все тот же неумолимый закон — закон сохранения количества движения. Сколько бы тел ни участвовало во взаимодействии, сумма количества движения у них всегда остается постоянной. Всякому действию присуще равное противодействие.

Если мы стреляем из ружья, то после вылета пули следует неизбежный толчок в плечо — отдача. После вылета одного фотона (в результате аннигиляции электрона и позитрона) неизбежно следует такая же отдача: вылет в противоположном направлении и с тем же запасом энергии другого фотона.

Иногда позитрон оставляет после себя три фотона. Теория предусматривает возможность образования еще большего числа квантов. Причем выделившаяся при аннигиляции энергия распределяется между ними поровну. Но чаще всего наблюдается исчезновение позитрония с образованием двух (парапозитроний) и трех (ортопозитроний) фотонов. Причем время существования позитрония в первом случае составляет $1,25 \cdot 10^{-10}$ сек, а во втором — $1,4 \cdot 10^{-7}$ сек.

Чтобы понять, почему это так происходит, нам придется возвратиться к понятию спина. В момент существования позитрония спины электрона и позитрона могут быть либо параллельны, либо антипараллельны. Значит, суммарный спин может быть равен либо единице, либо нулю. Это и определяет возможность существования ортопозитрония в первом случае и парапозитрония — во втором. В момент аннигиляции позитрона и электрона происходит последовательный процесс тонких и сложных взаимодействий, которые целиком определяются направлениями спинов частиц.

Закон сохранения моментов количества движения запрещает обладающему единичным спином ортопозитронию распадаться на две частицы. Ведь суммарный спин двух фотонов может быть равным либо двум, либо нулю. Поэтому ортопозитронию остается только одна возможность распада, а именно на три фотона. Два антипарал-

лельных фотона дают суммарный спин, равный нулю, а третий фотон и определяет единичное значение спина ортопозитрония. Естественно ждать распада парапозитрония, обладающего нулевым спином, на два антипараллельных фотона.

Позитроний — не единственный вариант искусственного атома, или, если можно так выразиться, «псевдоатома». Квантовое поле предполагает возможность образования еще и мезонного атома. Представление о таком атоме можно получить, мысленно заменив электроны, вращающиеся вокруг атомного ядра, отрицательными мезонами. Мы уже говорили, что каждому электрону соответствует определенная дискретная орбита, соответствующая его энергии. Если атомное ядро захватит извне гамма-квант, энергия такого ядра увеличивается, и электрон перескакивает на более удаленный энергетический уровень. Электростатические силы неизбежно возвращают электрон на прежнюю орбиту, и ядро выбрасывает поглощенную перед этим энергию, опять-таки в виде гамма-кванта. Атом каждого элемента располагает строго определенным количеством энергетических орбит. Поэтому и фотоны, излученные ядром, характеризуются тоже строго определенной частотой излучения.

Если в атоме водорода заменить электрон отрицательным мезоном, то мезону тоже будет предоставлено строго определенное число орбит; для мюона диаметр его возможных орбит уменьшится во столько раз, во сколько он тяжелее электрона, то есть в 210 раз. Точно так же уменьшится и длина волны излучаемых ядром гамма-квантов. То же будет иметь место и в случае с отрицательными пионами, только здесь диаметры орбит и длина волны ядерного излучения уменьшатся соответственно в 273 раза. Такое уменьшение длины волны приводит к тому, что вместо видимого света атом начинает излучать рентгеновские лучи с очень малой проникающей способностью. А такие лучи довольно трудно обнаружить. Поэтому физики предпочитают иметь дело с тяжелыми мезонными атомами, обладающими более короткими волнами излучения.

Различие в свойствах пионов, сильно взаимодействующих с нуклонами, и ядерно-инертных мюонов ярко проявляется в поведении мезоатомов. Благодаря слабому взаимодействию с ядром мю-мезонов мю-мезоатом чаще

всего распадается от захвата, тогда как пи-мезоатом, наоборот, имеет много шансов быть захваченным ядром еще до распада. Благодаря движению вблизи ядра мезоны в мезоатоме служат прекрасным средством исследования размеров и форм ядра. Недавно Л. Альварец с сотрудниками обнаружили даже возможность образования мю-мезомолекул. Первые мезонные атомы были получены на синхроциклотроне (пи-мезоатомы открыты в 1952 году Камаком, мю-мезоатомы — Фитчем и Рейнуотером). Поток отрицательных мюонов замедляется до тепловых скоростей и захватывается атомными ядрами, а специальные счетчики измеряют длину волны рентгеновских лучей, которые испускают возбужденные ядра различных элементов. Относительно легкие элементы, такие, как азот и углерод, излучают на длине волны, вполне соответствующей разнице масс мюона и электрона. Но когда перешли к опытам с более тяжелыми элементами, энергия рентгеновского излучения резко уменьшилась. В чем же дело? Рассмотрим модель атома свинца, где вокруг ядра вращаются 82 электрона. Если заменить один из них мезоном, то самая ближняя из возможных его орбит будет находиться в $82 \cdot 210$ раз ближе к ядру, чем самый ближний электрон. Иначе говоря, мезонная орбита будет в $82 \cdot 210$ раз меньше диаметра атома водорода (10^{-8} см). Это составит величину $5,8 \cdot 10^{-13}$ см. Но диаметр ядра атома свинца равен $17 \cdot 10^{-13}$ см. Получается, что орбита мюона проходит не где-нибудь, а внутри атомного ядра! И ничего невероятного в этом нет. Непроницаемость присуща только миру больших вещей. Миру, среди которого мы живем. В микромире такого свойства просто не существует. Поэтому мюон может совершенно свободно передвигаться в таком сверхплотном упакованном теле, как атомное ядро. Мюон успевает за какие-то 100-миллионные доли секунды совершить внутри ядра триллионы оборотов, после чего он поглощается ядерным веществом.

Иначе ведет себя пион. Как известно, он очень интенсивно взаимодействует с нуклоном. Поэтому едва пион попадает на ближайшую к ядру орбиту, как сразу же захватывается протоном. Энергия захваченного пиона тоже взрывает ядро с очень большой силой. Это можно видеть по тем звездам, которые образуются в толстом слое фотографической эмульсии. Эти фотографии лиш-

ний раз могут убедить в том, что элементарные частицы на самом деле вовсе не элементарны.

Магия ядер

«Ядра атомов абсолютно безнадежно невидимы», — пишет американский физик Роберт Хофштадтер. И с этим нельзя не согласиться. Хотя очень неприятно признать слово «безнадежность». Очень сомнительно, чтобы в близком будущем человек смог непосредственно увидеть атом. Ведь вспышка на экранах счетчиков, туманные следы в камере Вильсона и толстослойной эмульсии, т. е. все, чем мы располагаем, — это только косвенные следы и изображения частиц и ядер.

Проблема структуры атомных ядер тесно связана с проблемой ядерных сил. На протяжении всего повествования мы уже не раз пытались объяснить ядерные силы. Но какой бы строгой ни получалась нарисованная нами картина, каждый раз оказывалось, что какие-то обстоятельства не учтены и какие-то наблюдения противоречат принятой схеме. К сожалению, у нас нет иного объяснения ядерных сил, чем то, которое было дано в рассказе о пионах-квантах ядерного поля. Пока это «последняя инстанция» ядерной физики, и новую схему предложит только будущее. Мы говорим «пока» и «к сожалению» не случайно. И дело здесь не столько в диалектике абсолютной и относительной истины, сколько в конкретном проявлении этой диалектики. В нашем распоряжении нет окончательных сведений о ядерных силах, действующих между двумя нуклонами. Поэтому вопрос о распределении многих протонов и нейтронов в ядрах изучен очень и очень мало. И кто знает, что нам удастся раньше: непосредственно увидеть ядро или раз и навсегда выяснить, по каким законам сосуществуют между собой все его обитатели.

Естественно, что теоретики вынуждены были прибегнуть к каким-либо приближенным моделям, которые, по видимому, сохраняют свою ценность и после выяснения вопроса о ядерных силах. И если мы только что говорили, пусть весьма приблизительно, о структуре нуклонов, то с атомом вопрос значительно упрощается. В атомах есть центральное тело, в котором сосредоточены почти вся

масса и весь положительный заряд, а движение электронов регулируется в основном кулоновским законом.

Вскоре после установления состава атомного ядра были предложены две модели его структуры: капельная и оболочечная.

Нуклоны, как говорилось, действуют друг на друга на очень малых расстояниях. Поэтому каждый из них взаимодействует лишь со своими ближайшими соседями. Такое свойство ядерных сил позволило член-корреспонденту АН СССР Я. И. Френкелю уподобить атомное ядро капле жидкости, в которой частицы взаимодействуют тоже только с соседями. Но этим аналогия с каплей жидкости не исчерпывается. Ведь если нуклоны в ядре располагаются подобно молекулам в капле воды, то плотность «капель» должна быть постоянной для всех без исключения ядер, а сама «капля» должна иметь ясно очерченную поверхность. Подобно большим и маленьким каплям дождя, ядерным каплям нужно было обладать одинаковой плотностью и для «большого» урана, и для «маленького» водорода. Поэтому объемы ядер должны возрасти пропорционально увеличению числа нуклонов. Так как объем шара пропорционален кубу радиуса, то радиусы атомов должны быть пропорциональны кубическим корням из чисел нуклонов. Это обстоятельство дает возможность измерить ядро любого атома.

Равномерно по всему объему «капли» распределяется и ядерный заряд. Плотность заряда должна быть поэтому различной для разных элементов в зависимости от отношения числа протонов к общему числу нуклонов. Так как в ядре водорода нейтронов вообще нет, то наивысшая плотность заряда должна быть именно в ядре атома водорода.

Для того чтобы вырвать из ядра нуклон, нужно затратить энергию, равную его энергии связи. Поэтому, если нас интересует обратная задача — ввести нуклон в ядро, то мы должны ожидать, что в ядре выделится такое же количество энергии. Ввести в ядро протон довольно трудно. Для этого нужно преодолеть силы электростатического отталкивания, развивающиеся между одноименными зарядами. А чтобы преодолеть эти силы, протон нужно ускорить. Так, для преодоления отталкивания между протоном и ядром атома тяжелого водорода — дейтроном (заряд дейтрона равен единице, так как

дейтрон состоит из протона и нейтрона), приходится ускорять протон до энергии, большей 0,5 Мэв.

В более тяжелые ядра протон ввести еще труднее, так как необходимая энергия возрастает пропорционально произведению зарядов взаимодействующих частиц.

Естественно, что не имеющий электрического заряда нейтрон больше всего подходит для ядерных реакций деления.

Попав в ядро, нейтрон выделяет около 8 Мэв энергии, которая разогревает ядро. В свою очередь, ядро излучает избыточную энергию в виде фотонов, которые уносят с собой и часть массы, равной энергии фотонов, разделенной на квадрат скорости света. Масса ядра, поглотившего нейтрон и излучившего энергию, равную связи, поэтому оказывается меньше, чем суммарная масса первоначального ядра и нейтрона. Точно так же масса ядра всегда меньше суммы масс, составляющих ядро нуклонов.

Эта разница носит название дефекта массы. Дефект массы — это специфическое свойство микромира, совершенно не имеющее аналогий с привычными для нас явлениями. Когда мы видим поднятую над землей бабу копра, то прекрасно понимаем, что при падении она совершит работу. Чем выше крановщик поднимает стрелу с бабой, тем больше будет работа, то есть чем больше потенциальная энергия поднятого тела, тем больше будет его кинетическая энергия при падении. Если же связать энергию с массой, то масса бабы и Земли (ведь баба падает на Землю) будет тем больше, чем выше поднята баба. Но силы тяготения не настолько велики, чтобы проявилось подобное изменение массы. И ни один прибор не сможет обнаружить разницу в массе двух систем — Земли и лежащей на ее поверхности бабы и Земли и поднятой бабы, даже если поднять бабу на орбиту спутника.

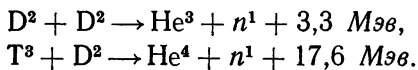
В микромире же, где действуют могучие ядерные силы, дефект масс проявляется с полной силой.

Дефект массы тем выше, чем больше энергии выделилось при образовании ядра, чем ближе сдвинуты друг к другу нуклоны внутри ядра и чем плотнее они упакованы. Наиболее плотной упаковкой обладают ядра атомов, расположенных в середине периодической системы — примерно от кремния до олова. Это полностью согласо-

ется с капельной моделью. Самый выгодный объем, как известно, сфера, а сферу трудно сформировать из небольшого числа нуклонов. Чем больше нуклонов, тем правильней будет сфера. Отсюда вытекает, что если мы соединим два очень легких ядра в одно, то, увеличив этим общее число нуклонов, мы добьемся более плотной упаковки. А что в основном характеризует плотность упаковки? Среднее расстояние между нуклонами. Это расстояние у нас сократится, следовательно, выделится определенное количество энергии. В этом и заключается принцип ядерных реакций синтеза.

Для синтеза двух легких ядер нужно, конечно, преодолеть сначала электростатическое отталкивание. Силы же отталкивания, как мы уже видели, тем меньше, чем меньше протонов в ядрах. Поэтому наиболее благоприятным для ядерного синтеза материалом служит тяжелый водород дейтерий и нестабильный изотоп водорода тритий.

Соединяясь друг с другом, дейтерий и дейтерий, а также дейтерий и тритий образуют гелий. В реакции также высвобождается один нейтрон, который идет на дальнейший синтез:



Отсюда видно, что вторая реакция сопровождается большим выделением тепла. В настоящее время хорошо освоена быстрая реакция синтеза — взрыв водородной бомбы. Непрерывная реакция, энергию которой можно было бы использовать, пока еще не осуществлена.

Мы недавно сказали, что чем больше нуклонов, тем легче сформировать из них правильную сферу. Почему же тогда наиболее плотно упакованы средние ядра? Казалось бы, что именно тяжелые ядра должны быть самыми плотными. Это объясняется теми же диалектическими законами. Количество переходит в качество, причем в качество противоположное. Здесь начинает сказываться большое число отталкивающихся друг от друга протонов. Тяжелые ядра не только более плотно упакованы, чем средние, но и содержат относительно большое количество нейтронов. Поэтому при делении тяжелого ядра нуклоны разделяются на две части, образуя два

средних по массе ядра с более плотной упаковкой. В этом процессе, конечно, выделяется энергия, часть которой идет на сообщение кинетической энергии новым ядрам, а часть излучается. Средние ядра должны содержать относительно меньшее число нейтронов, чем родившее их тяжелое ядро. Часть нейтронов становится лишней. Эти «безработные» нейтроны частично улетают из системы, а частично, испуская электроны, становятся протонами. Так вновь устанавливается нуклонное равновесие. Испускание электронов не всегда происходит мгновенно. Иногда это довольно продолжительный процесс, протекающий в несколько ступеней. Поэтому образовавшиеся в процессе деления ядра радиоактивны. Физики называют их радиоактивными осколками деления.

Капельная модель хорошо объясняет механизм деления. Нейтрон, проникая в ядро тяжелого элемента (урана-233, урана-235 или искусственно созданного плутония-239), отдает энергию связи и нагревает его. Ядро начинает кипеть, как капля воды на горячей сковородке. Оно пульсирует, то растекаясь, то вновь превращаясь в шар. Так как силы нуклонного притяжения в тяжелом ядре слабее, чем у элементов с более плотной упаковкой, ядро, постепенно вытягиваясь, все чаще растекается. Наконец, в какой-то момент «большая капля» делится на две. Освободившиеся «безработные» нейтроны находят себе работу в соседних ядрах. Реакция прогрессирует и разрастается, как лавина. Так протекает цепная реакция деления урана. Мы коснулись ее лишь постольку, поскольку она может быть объяснена капельной моделью.

Но существуют факты, противоречащие капельной структуре ядра. Ядра с четным числом протонов прочнее, чем с нечетным их числом. Да и в природе эти «четные» ядра распространены гораздо шире. Четное число нейтронов тоже способствует упрочнению ядра. Но из всех ядер самыми стабильными, обладающими наибольшей энергией связи оказываются такие, у которых число протонов или нейтронов 2, 8, 14, 20, 28, 50, 82, 126. Эти числа в знак уважения к высокой стабильности характеризуются ими ядра называют «магическими».

Ядра с магическими числами совершенно отказываются захватывать нейтроны. А если «магическое» ядро обладает альфа-радиоактивностью, то энергия испуска-

емых им альфа-частиц крайне незначительна. Обладают «магические» ядра и другими свойствами, говорящими об их повышенной прочности. Поистине природа многолика!

Основные трудности, с которыми приходится встречаться физикам при попытке объяснить свойства атомных ядер, заключаются прежде всего в том, что ядра представляют собой очень сложные системы, состоящие из большого числа (иногда более 250) нуклонов. Чтобы рассчитать свойства такой системы, нужно решить задачу о движении всех этих взаимодействующих частиц. Для наглядной иллюстрации сложности такой задачи скажем, что даже только для трех нуклонов не удалось пока ее решить достаточно точно.

Кроме того, все еще остается на повестке дня вопрос о ядерных силах. Взаимодействие между нуклонами в ядре, как мы уже были вынуждены констатировать, нам точно неизвестно.

По аналогии с электронными уровнями в атоме физики предположили, что в ядре существуют уровни или оболочки, заполняемые парами нуклонов (два протона, два нейтрона), спины которых антипараллельны. Ядра с полностью заполненными оболочками оказываются наиболее прочными. В этом и заключается тайна «магических» чисел. По этой новой оболочечной модели ядра каждый нуклон обладает определенной энергией, и обмена энергиями между нуклонами почти не происходит.

В последнее время с помощью оболочечной модели удалось объяснить ряд очень интересных моментов.

Оболочечное строение ядра противоречит его капельной структуре. И вместе с тем оба представления о структуре ядра подтверждаются многими экспериментальными фактами. Физики находят даже такие области, где в известном приближении справедливы обе модели одновременно.

Пока ядро не возбуждено, не нагрето, нуклоны в нем в соответствии с законами квантовой теории располагаются по оболочкам. Но когда в ядро влетает нейтрон и оно начинает разогреваться и кипеть, нуклоны срываются с оболочек, движение их приобретает хаотичный характер и ядро уподобляется жидкой капле. Но есть факты, противоречащие обеим моделям. Это значит, что в будущем появится новая теория о структуре ядра, кото-

рая возьмет у оболочечной и капельной моделей их лучшие черты.

Но пока оболочечная модель ядра еще далеко не исчерпана. Теоретики предполагают дополнить ее, учтя явления, происходящие на поверхности ядра. Вблизи поверхности плотность нуклонов и величина поля, в котором они движутся (это поле называется самосогласованным; оно определяется совокупным действием всех входящих в ядро частиц), быстро уменьшаются. Поэтому все большую роль начинают играть взаимодействия между отдельными нуклонами. Это должно приводить к образованию на поверхности ядра нуклонных группировок. Надлежащий учет поверхностных эффектов, которые, кстати сказать, в последнее время подтверждены экспериментально, по-видимому, позволит сильно расширить границы применения оболочечной модели.

Молекулы микромира

Еще недавно на вопрос: какую форму имеет атомное ядро, последовал бы мгновенный ответ: как какую? Конечно, сферическую. Это же естественно! Но это совсем не естественно, точнее, совсем не обязательно. В сущности, мы считаем атомы, ядра и даже элементарные частицы шариками лишь по привычке. Мы повторяем ошибку, которая берет начало во тьме прошедших веков. Может быть, тогда, когда нам наконец удастся увидеть атомное ядро, мы будем поражены тем, что его формы не имеют вообще ничего общего с известными нам геометрическими фигурами. Вот это-то и будет естественно, так как микромир должен иметь свою, только ему свойственную геометрию. Пока же нам приходится говорить о формах ядер, оперируя привычными понятиями.

В последнее время некоторые эксперименты показали, что многие ядра имеют не сферическую форму, а форму эллипсоида вращения. Такое представление позволило объяснить последовательность и разность энергий слабовозбужденных уровней многих ядер, а также большие величины квадрупольных моментов из основных состояний. Квадрупольный момент — одна из основных характеристик ядра. Квадрупольной называется система зарядов, создающих такое же поле, как четыре по величине одинаковых заряда, два положительных и

два отрицательных, помещенных в углах квадрата, причем положительные находятся на одной диагонали, а отрицательные на другой. Квадрупольный момент равен произведению площади квадрата на заряд. У сферически симметрично распределенного заряда квадрупольный момент равен нулю.

Но не успел эллипсоид вращения завоевать себе монопольное право называться формой ядра, как появились данные, говорящие о каких-то отклонениях. Чтобы объяснить их, советские физики Давыдов и Филиппов предложили новую форму ядра — трехосный эллипсоид. Такая модель позволяет теоретически вычислить многие экспериментально наблюдаемые величины. Более того, до сих пор не найдено ни одного опровержения этой модели, все экспериментальные данные в худшем случае не противоречат заключению, что некоторые ядра представляют собой трехосный эллипсоид.

Но и этим не исчерпывается разнообразие форм атомных ядер. И если эллипсоиды в какой-то мере близки к сфере (сферу можно рассматривать как частный случай эллипсоида — равноосный эллипсоид), то такая форма ядра, как, скажем, гантель, способна поразить любое воображение.

Вторгаясь в область химии, скажем, что атомы всех элементов могут входить в состав молекул. Природа сил, приводящих к соединению атомов в молекулы, объяснена квантовой механикой. Решающая роль в образовании молекул принадлежит обменному взаимодействию. Оно проявляется в том, что валентные электроны атома меняются местами, появляется общее электронное облако, удерживающее атомы друг возле друга.

В последнее время канадские физики Бромли, Алмквист и Кюпер сделали очень интересное, принципиального значения открытие. Рядом тонких экспериментов (они решили разогнать и обрушить на атомное ядро такие сверхтяжелые снаряды, как ядра кислорода, углерода, азота) им удалось установить, что молекулярная система присуща не только атомам, но и их ядрам.

Готовя подобные эксперименты, физики в общем-то не ожидали чего-то принципиально нового. Ведь те же протоны, дейтроны и альфа-частицы — это тоже атомные ядра, только более легкие. Но обстрел ядер снарядами большого калибра провести было все же необхо-

димо. Много затруднений пришлось преодолеть, пока были созданы ускорители, позволяющие получить пучки тяжелых ядер, лишенных электронов.

Канадские физики для ускорения ионов углерода и кислорода применили электростатический генератор мощностью 5 млн. вольт. Когда ускоренное до высокой энергии ядро углерода — 12 столкнулось со своим близнецом и была снята кривая излучения бомбардируемого ядра, физики с изумлением обнаружили, что эта кривая имеет совершенно необычный характер.

Раньше физики сталкивались лишь с монотонно возрастающей кривой. И это было легко объяснить. Росла энергия пучка ядер — снарядов, постепенно увеличивалась и интенсивность испускаемых ядром-мишенью альфа-частиц. Это зависело от того, что из-за электрического отталкивания при малых энергиях ядрам не удастся сблизиться на такое расстояние, когда они сливаются в новое ядро. Но с увеличением энергии вероятность слияния все более возрастает и вместе с тем растет интенсивность излучения. Так было, когда изучали взаимодействие ядер кислорода ($O+O$).

Кривая для реакции ($C+C$) оказалась совершенно неожиданной: монотонная зависимость здесь резко нарушается серией четких горбов-максимумов.

Не располагая этой загадочной кривой, физик мог бы представить себе механизм протекания реакции примерно так: наиболее вероятно, что реакция будет протекать через составное ядро. Это означает, что в результате столкновения двух ядер C^{12} образуется высоковозбужденное ядро магния Mg^{24} . Оно будет жить очень малые доли секунды и распадется, испустив один или несколько протонов или нейтронов; возможно также испускание альфа-частицы. Кроме того, в любом случае при распаде будут испускаться еще и гамма-кванты.

Во всяком случае, исходя из современных представлений, нельзя было предположить, что составное ядро испустит такую тяжелую частицу, как ядро C^{12} .

Но если бы физик начал анализировать кривую реакции ($C+C$), то кроме данных, свидетельствующих в пользу приведенного механизма, он обнаружил бы среди продуктов реакции значительное число ядер C^{12} . Противоречие между теоретическими представлениями и экспериментом налицо. Как же здесь быть?

Чтобы ликвидировать это противоречие, приходилось брать на вооружение гипотезу о ядерной молекуле. Вот оно, ядро в форме гантели, когда оба ядра не теряют своей индивидуальности, не сливаются в единое целое, а как бы лишь слегка касаются друг друга! Взаимодействие же между ядрами осуществляется лишь за счет поверхностных нуклонов.

Ядерная молекула образуется сейчас же после столкновения двух углеродных атомов. Живет она очень недолго, что-то около 10^{-20} секунды. Образующие молекулу ядра иногда вновь разлагаются, а в ряде случаев, наоборот, сливаются в составное ядро магния.

В отличие от химической молекулы в ядерной молекуле ядра сближены на столь малые расстояния, что связь между ними осуществляется не за счет электронных оболочек, а посредством ядерных сил.

Обычная двухатомная молекула в химическом отношении обнаруживает все свойства соответствующего элемента. И атомарный, и молекулярный кислород проявляет в химических реакциях одни и те же свойства. Зато ядерная молекула ведет себя совершенно иначе. Если представить себе, что молекула из двух сохраняющих свою химическую индивидуальность углеродных атомов окружена соответствующими электронными оболочками, то по своему поведению она никак не будет напоминать углерод. По всем химическим свойствам это будет самый настоящий магний.

Но всегда ли в результате взаимодействия двух тяжелых ионов образуются гантельные ядра? Поставленные эксперименты убедительно показали, что, например, в той же реакции ($O+O$) ядерные молекулы не образуются. Чем же объясняется такое различие в реакциях?

В настоящее время не совсем еще ясен механизм появления достаточно дальнедействующих сил притяжения, ответственных за возникновения ядерных молекул или, как еще называют, квазимолекул. Эти силы притяжения должны полностью компенсировать электростатическое отталкивание одноименно заряженных ядер, которое достигает на таких расстояниях очень большой величины. Большое значение при этом, вероятно, имеет деформация ядер при соударении, которая может привести к обменно-нейтронному взаимодействию. Ядро атома кислорода — это «магическое» ядро, в котором

нуклоны образуют замкнутые насыщенные оболочки. Такое ядро, как мы уже знаем, обладает повышенной прочностью и поэтому слабее подвергается деформации. Пока только этим можно объяснить «нормальное» поведение ядер в реакции ($O+O$).

Ядра замедленного действия

В послевоенные годы широко проводились исследования процессов по взаимодействию с ядрами нуклонов средних и малых энергий (1—20 Мэв). От этих взаимодействий можно было ожидать полной вероятности захвата нуклона, упругого рассеяния падающих частиц и углового распределения рассеянных нуклонов. Оказалось, что экспериментальные значения этих величин полностью согласуются с результатами, вытекающими из оптической модели ядра.

Эта модель предполагает, что взаимодействие нуклона с ядром представляет собой прохождение нуклонов через сгусток некоего «ядерного» вещества. Поэтому, чтобы охарактеризовать взаимодействие, приходится прибегать к таким понятиям, как «оптическая плотность» вещества, «коэффициент преломления», распределение вещества по сгустку. Экспериментальная проверка теоретических предпосылок оптической модели показала, однако, что оптические параметры не могут объяснить некоторые довольно тонкие детали ядерных реакций. Возникли две противоречивые тенденции. С одной стороны, эксперименты все более уточняли параметры оптической модели, а с другой — все яснее вскрывали ее ограниченность.

Сам собой напрашивается вывод: может быть, все ядерные модели можно свести в одну, более сложную и совершенную? Вероятно, так оно и будет. Но не надо думать, что новая модель явится искомой арифметической суммой из нескольких слагаемых. Простое сложение здесь неприменимо. К тому же, как правило, теории не создаются только на бумаге. Поэтому лучший путь (конечно, с точки зрения физики сегодняшнего дня) — это эксперимент. Только он приведет к синтезу наших представлений о ядре.

В 1936 году вышла классическая работа Оге Бора «О промежуточном ядре в ядерных реакциях». Чтобы

охарактеризовать сущность этой работы, нам придется прибегнуть к некоторым аналогиям, которые, к сожалению, не могут претендовать ни на исчерпывающую точность, ни на художественную ценность. Представьте себе пространственный бильярд, где шары могут двигаться не в двух, а в трех измерениях. Вот именно на «сукно» такого бильярда упал сильно пущенный шар. Несколько раз столкнувшись с соседями, он постепенно потерял избыточную энергию и остался среди собратьев. Куда девалась эта энергия? Она распределилась среди других шаров так, что на долю каждого досталось очень и очень немного. Поэтому ни у одного из шаров не остается энергии, чтобы покинуть систему. Здесь наша аналогия заканчивается. Избыточная энергия шара будет поглощена столкновениями, всякого рода трениями и пр. Она как бы погаснет. В атомном ядре этого не происходит. Когда нуклон или альфа-частица после многих соударений с нуклонами ядра «запутывается» в нем, избыточная энергия не затухает. За довольно большой, по сравнению с характерным ядерным временем (10^{-21} сек), временной промежуток вся или большая часть избыточной энергии ядра случайно сосредоточивается или на одном нуклоне, или на группе нуклонов (альфа-частица, дейтрон).

Получив добавочную энергию, частица покидает ядро. Основная идея этого предложенного Бором механизма в том, что между попаданием нуклона в ядро и испусканием продуктов реакции проходит довольно много времени. Если мы позаимствуем у кино идею замедленной съемки, то сможем всю ядерную реакцию разделить на три периода. Сначала ядро захватывает падающую частицу. Это первый период. Потом наступает период довольно длительного, по ядерным масштабам, существования «промежуточного» ядра, в котором протекают пока неведомые нам процессы энергетического перераспределения. Наконец, это третий период, ядро испускает частицу, уносящую с собой избыточную энергию. Физики называют такие реакции идущими через «промежуточное ядро».

Какое же время существует «промежуточное» ядро? Мы называли это время длительным. И это действительно так — 10^{-12} сек. Это в миллиард раз дольше, чем 10^{-21} сек. Между этими цифрами такая же разница, как

между секундой и тысячелетием! Можно сказать и так: каждую секунду в «составном» ядре совершается та или иная реакция, но лишь через тысячу лет это ядро развалится. Колоссальная разница, характерная лишь для микромира, живущего в ином, столь непривычном для нас масштабе времени.

Однако в последние годы были найдены многочисленные реакции, которые протекали гораздо быстрее, чем полагалось по схеме Бора. Когда, например, в ядро попадает частица высокой энергии (30—40 Мэв) или даже пролетает вблизи от ядра, то в нем возбуждается движение, которое поглощает часть кинетической энергии частицы. Сама же частица улетает от ядра, практически не замедляясь. Реакция протекает лишь за столько времени, сколько нужно частице, чтобы пролететь вблизи ядра (10^{-21} сек). Быстро протекает и другой процесс, который называют реакцией срыва. Когда мимо ядра пролетает сложная частица, то она может «выхватить» из него один или несколько нуклонов. Теоретики предложили ряд довольно грубых моделей для описания «прямых», «неборовских» реакций, позволивших объяснить многие экспериментальные данные.

Может показаться, что различные стороны ядерных процессов описываются множеством чисто умозрительных, противоречивых и очень ограниченных моделей. Но такой взгляд был бы скольжением по поверхности сути вещей.

Сейчас в ядерной физике начался процесс победного синтеза всех этих моделей, перебрасываются мосты между оболочечной, оптической и моделью деформированных ядер. В теории ядерных реакций связываются воедино концепции промежуточного ядра, прямых процессов и оптических взаимодействий. Это штурм великой загадки природы, который начался сразу в нескольких местах. Это наступление по всем линиям фронта. Это не только дальний, но и широкий, всеобъемлющий поиск. «Я представляю себе необъятную область наук, — писал Дидро, — широким полем, усеянным темными и светлыми пятнами. Цель наших работ должна заключаться или в том, чтобы расширить границы светлых пятен, или в том, чтобы умножить на ней источники света. Первое — дело гения-созидателя, второе — дело проныцательного разума, вносящего улучшения».

Зов из Зазеркалья

Проблема ядерных сил увела нас довольно далеко. Мы познакомились со строением нуклонов и ядер, позитронием и мезоатомами. Теперь мы возвращаемся к рассказу об элементарных частицах.

Скажем сразу, рассказ этот начнется несколько неожиданно с проблемы как будто очевидной, но на самом деле совершенно неизведанной. Более того, проблема эта сначала вообще может показаться ничего общего с ядерной физикой не имеющей. Представьте себе, что ночью, когда люди спят, вдруг все «стороны» в нашем мире поменялись местами. Все левое стало правым, а правое — левым. Заметим ли мы, проснувшись поутру, эту парадоксальную перемену? Не надо спешить с ответом. Прежде всего учтите, что правая половина тела у всех людей стала левой и наоборот, юг и север, восток и запад поменялись местами, Земля изменила направление своего вращения на противоположное. Более того, Земля стала обращаться вокруг Солнца в обратную сторону. Сюда же нужно добавить и «менее значительные» детали: правые кристаллы стали левыми и наоборот, точно так же поменялись местами правые и левые формы аминокислот, из которых построены белки. Даже поляризованные фотоны не избежали этой перемены.

Вот теперь мы можем отвечать на поставленный вопрос. Очевидно, ответ должен быть отрицательным: никакой перемены мы не заметим. Изменившийся за ночь мир ничем не отличался бы от существовавшего раньше. В этом можно убедиться, познакомившись с предложенной Я. А. Смородинским шуточной задачей «О двух нарисованных домиках».

В двух разных комнатах на полу нарисованы два одинаковых дома. У них попарно равны все стороны и все углы, даже количество завитков идущего из труб дыма у них одинаково. Но если бы мы смогли наложить один домик на другой, то для того чтобы изображения совпали, одно из них пришлось бы поднять с пола и перевернуть. Но домики нарисованы, и поднять их нельзя. Как же тогда убедиться в их единственном различии? Очень просто. Подойдя сначала к одному домику, а потом к другому, мы обнаружим, что дверь у одного справа, а у другого слева. А что будет, если мы не смо-

жем сравнить оба домика со своим несимметричным телом? Можно ведь представить себе, что у второго домика находится человек из того мира, где все вдруг поменялось местами, человек, который является нашим зеркальным изображением и общаться с этим «антиподом» мы можем только по телефону. Здесь уже не так легко объяснить ему, с какой стороны у нашего домика дверь. А если не только наш телефонный собеседник, но и весь окружающий его мир зеркален нашему, то договориться с ним станет просто невыносимо. Более того, невозможно даже придумать вопрос, который мы могли бы задать по телефону нашему собеседнику, чтобы узнать, кто он такой — зеркальный антипод или обыкновенный человек. Телефонный разговор здесь бессилён. Единственное средство — это подойти к собеседнику и, увидев, сравнить его с собой или послать ему какой-нибудь несимметричный предмет из нашего мира, указав на нем, что мы называем правым, а что левым.

В мире «наоборот», в зазеркалье, все процессы совершаются точно так же, как и у нас. Поэтому его обитатели не имеют никакого повода думать, что они живут в мире «наоборот».

Эти, на первый взгляд, не очень серьезные рассуждения приводят нас к пониманию очень важного свойства нашего мира. Свойство это заключается в его симметрии относительно зеркального отражения. Оно может быть сформулировано следующим образом: все физические явления останутся неизменными, если в мире поменять местами направления «право» и «лево» и изменить направления всех вращений, в том числе и направления винтов и спиралей, на обратное.

Чтобы попытаться сравнить между собой привычный мир и мир физического зазеркалья, нужно, чтобы кто-нибудь перешел из одной системы в другую и перенес информацию о направлениях в одной из систем. В сущности, этот «кто-то» должен совершить невозможное. Если зеркальные (по отношению к нам) миры существуют, то они удалены от нашего мира на колоссальные, совершенно непреодолимые расстояния.

Мы приписали нашему миру свойство зеркальной симметрии. Но, может быть, при внимательном рассмотрении мы сможем обнаружить явления, которые противоречат этому свойству? Действительно, у огромного

большинства людей и животных сердце расположено слева, а не справа. Почти все спиральные раковины закручены в одну сторону и даже спаренные иголки со сны то же обнаруживают одностороннюю, винтовую закрученность. Бактерии различают молекулы разной спиральности. По сути дела ни о какой право-левой симметрии живых существ не может быть и речи: весь органический мир резко асимметричен.

Интересно то обстоятельство, что биохимически и биологически левые и правые соединения не тождественны и не могут быть заменены друг на друга. Если, например, в молекулу пенициллина ввести вместо правой аминокислоты аминокислоту левой формы, то такой препарат окажется совершенно непригодным для борьбы с бактериями. Можно привести и другие примеры.

Мы можем сравнить обычный мир и зазеркалье по одному лишь элементарному признаку: будет ли ввинчиваться болт с правой нарезкой из одного мира в гайку с правой нарезкой из другого мира (мы характеризуем нарезку, конечно, с точки зрения того мира, где она сделана). Продолжая аналогию, мы можем сказать, как левый винт нельзя ввернуть в отверстие с правой резьбой, так и необычно закрученными органическими соединениями нельзя вызвать эффектов, типичных для обычных соединений. Поэтому, не касаясь пока сформулированного только что закона о симметрии мира, мы можем сказать, что живая протоплазма асимметрична. Она образует, накапливает и воспроизводит себя только из одного антипода дисимметричных молекул. Как физики предполагают возможность существования антимиров, построенных из античастиц, так и биологи считают возможным существование зеркально противоположной протоплазмы, которая была бы построена не из правых углеводов и левых аминокислот, а наоборот — левых углеводов и правых аминокислот.

Откуда же произошло такое разделение живой природы? Предположение Вант-Гоффа, что асимметрия протоплазмы возникла под воздействием небесного циркулярно поляризованного света, образующегося при отражении плоскополяризованной части небесного света от поверхности морей и океанов, вряд ли можно принять. Асимметрия—явление гораздо более широкого и обще-

го порядка. Мы находим асимметричные молекулы повсеместно, в том числе и там, куда отраженный от океанской поверхности свет не мог попасть вообще. Неприемлемой для нас оказывается и другая «гипотеза». Ее автор Д. Джепп в 1898 году заявил, что асимметрия протоплазмы могла возникнуть «только под влиянием жизненной силы».

Наиболее интересны для нас высказывания Луи Пастера и академика В. И. Вернадского, которые удивительным образом перекликаются с современными физическими представлениями о мире и антимире.

Пастер писал в 1864 году, что асимметрия протоплазмы связана со свойствами физического космического пространства. Знакомый с более новыми физическими идеями В. И. Вернадский утверждал, что правизна и левизна — свойства пространства и времени. Он подчеркивал, что правизна и левизна проявляются в спиральном правом или левом закручивании галактик, и указывал на желательность подсчета количества правых и левых галактик в связи с нашими идеями о структуре пространства.

Всего этого достаточно для того, чтобы говорить о существовании зеркальной симметрии лишь для явлений в неорганических системах. Что же касается биологических систем, то присущая им асимметрия могла возникнуть только из-за асимметрии, уже существовавшей в момент возникновения жизни. Но об условиях, вызвавших появление живых существ, нам известно крайне мало. Да и не они составляют предмет нашего изложения. Поэтому впредь мы будем говорить лишь о неорганическом мире. В этом мире все кажется настолько симметричным, что не только законы правого и левого миров одинаковы, но и в нашем окружении правое и левое встречается одинаково часто.

В 1936 году немецкий ученый Кун показал, что законы термодинамики требуют равенства в неорганическом мире числа левых и правых форм кристаллов и молекул. Советские исследователи Г. Г. Лемлейн и И. И. Шафрановский и немецкий ученый Тромсдорф решили проверить это положение непосредственным подсчетом многих тысяч правых и левых кристаллов кварца из разных месторождений земного шара. Теория была блистательно подтверждена. Во всех исследованных случаях число

правых кристаллов кварца равнялось приблизительно числу левых.

Таким образом, симметрия неорганического мира представлялась как нечто само собой разумеющееся и в общем-то не очень интересное. Тем удивительней оказался для физиков факт, что в микромире существуют явления, для которых правое и левое, низ и верх неравноценны.

Не стремясь к увеличению числа аналогий, вообразим все же, что в ту замечательную ночь, когда мир наш превратился в мир физического зазеркалья, произошло еще одно не менее важное событие. Пусть в нашем мире неожиданно изменились все знаки зарядов. Положительные заряды стали отрицательными, отрицательные — положительными. Что будет в этом случае? Да то же, что и в первом — все останется по-прежнему. Все физические явления не претерпят никаких изменений. Мир, в котором протоны заряжены отрицательно, а электроны — положительно, будет полностью подобен нашему.

В этом случае, как и тогда, когда меняются знаки пространственных координат (зеркальное отражение), для сравнения обоих миров нужно опять что-нибудь перенести из одного мира в другой, чтобы убедиться в их различии.

Симметрия мира относительно зарядового сопряжения, или зарядового отражения, как именуют эту операцию физики, была установлена не так уж давно. До 1932 года мир рисовался физикам резко асимметричным. Ведь тогда считали, что вещество построено из легких и отрицательных электронов и тяжелых и положительных протонов. И только Дирак ввел на страницы теоретической физики представление о позитроне — зеркальном двойнике электрона.

В 1933 году в нобелевской речи он впервые высказал столь модную теперь идею о существовании антимиров: «Если мы примем точку зрения полной симметрии между положительными и отрицательными зарядами в той мере, в какой это касается фундаментальных законов природы, то мы должны считать случайностью избыток отрицательных электронов и положительных протонов на Земле (и, по-видимому, во всей Солнечной системе). Вполне возможно, что для некоторых звезд дело обстоит иначе и эти звезды построены главным образом из пози-

тронов и отрицательных протонов. Действительно, тогда могло бы существовать поровну звезд каждого типа. Спектры звезд обоих типов были бы в точности одинаковы и не существовало бы никакого способа различить их между собой нынешними астрономическими методами».

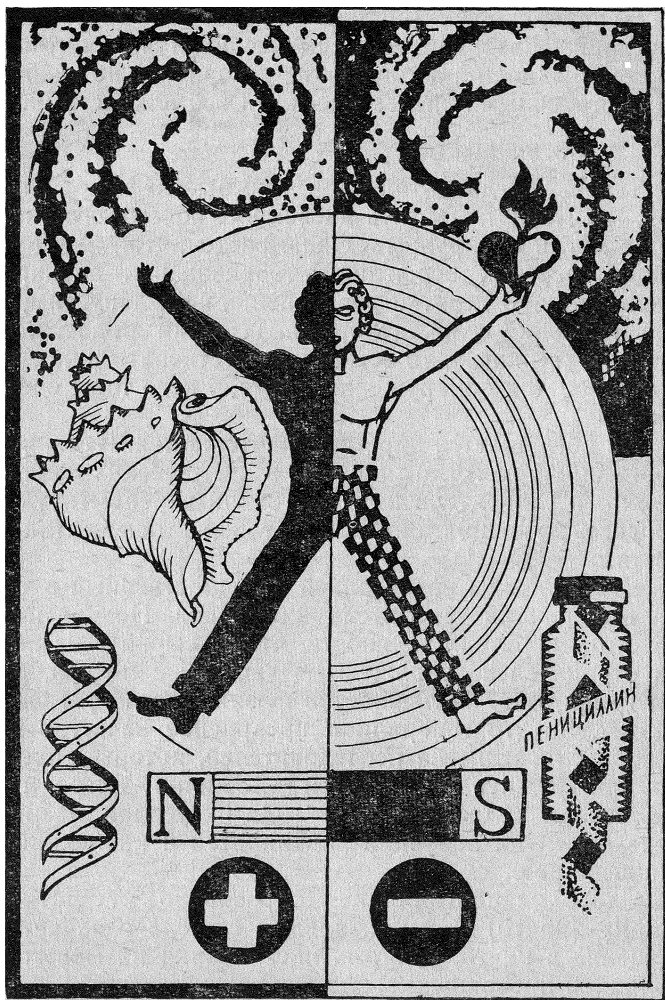
Существование в природе удивительной симметрии частиц и античастиц было предсказано теорией, родившейся из союза теории относительности и квантовой механики.

Законы теории относительности носят всеобщий характер. Им обязаны следовать все прочие теории. Квантовая механика, в частности, должна удовлетворять следующему требованию: если экспериментатор проводит одни и те же измерения в разных системах отсчета, результаты должны быть одинаковыми. Вот это-то требование инвариантности, которое, как тяжелую дань, наложила теория относительности на квантовую механику, нельзя было соблюсти без античастиц. Понятно поэтому, что меньше всего удивились обнаружению античастиц именно физики. Без них нельзя было построить теорию.

Проходили десятилетия, а электрон и позитрон оставались единственным известным примером пары частица — античастица. Между тем существование отрицательного протона — антипротона, казалось вполне естественным, так как протон точно описывался дираковским уравнением. Но слишком уже велика разница в массе между протоном и электроном. Поэтому для рождения пары протон — антипротон требуется энергия в несколько миллиардов электронвольт. Как мы уже видели, в космических лучах были зарегистрированы частицы гораздо больших энергий.

Галактические скитальцы подарили физикам не только позитрон, но и мюоны и пионы. Но тем не менее антипротон обнаружить не удалось. Кое-кто даже стал поговаривать, что протон — «не совсем» дираковская частица, так как из-за внутренней сложности (об этом уже шла речь) его магнитный момент почти вдвое больше, чем следует из уравнения Дирака.

Положение, которое сложилось в физике в связи с этой проблемой, академик Я. Б. Зельдович охарактеризовал так: «Интервал времени между предсказанием антипротона и его наблюдением в 1955 году был слишком



велик, и у некоторых теоретиков появились попытки построить теорию без антипротона».

Прорубленное Дираком окно в антимир казалось узенькой форточкой. В космических лучах антипротон не обнаруживали, а тогдашние ускорители не располагали достаточными энергетическими возможностями.

Антивещество

Теперь, когда антипротон уже открыт и хорошо изучен, мы можем ответить на вопрос: почему его так долго не могли обнаружить. Оказывается, что даже при высоких энергиях вероятность образования антипротона очень мала. В десятки раз меньше, чем, допустим, мезонов. Но даже если антипротон все-таки рождается, вероятность «выжить», то есть просуществовать какое-то достаточное для обнаружения время, у него тоже очень невелика.

Он поглощается ядром и уничтожается. Итак, вероятность обнаружить антипротон в космических лучах ничтожна, а ускорители не в состоянии перепрыгнуть через «порог» рождения антипротона из-за недостатка мощности.

Все надежды возлагались на единственный в то время мощнейший ускоритель — беватрон. Но хватит ли у нового ускорителя мощности, чтобы вырвать из антимира отрицательно заряженную частицу с массой, равной массе протона? Большинство физиков было уверено, что хватит. За это говорили и прекрасное качество нового ускорителя, и имена исследователей, которым предстояло обнаружить антипротон — Эмилио Сегре и Оуэн Чемберлен. В октябре 1955 года их усилия увенчались успехом. Они получили антипротон и наблюдали его аннигиляцию.

Слово «аннигиляция» образовано от латинского «*nihil*» (ничто) и в буквальном смысле означает превращение в ничто, уничтожение. Физики называют аннигиляцией превращение элементарных частиц, обладающих собственной массой, в другие формы материи, в частности, даже с массой покоя равной нулю (гамма-кванты). Закон сохранения материи при этом не нарушается, изменяется лишь форма существования материи. Суммарные значения импульса, спина и заряда системы частиц остаются теми же, что и до аннигиляции.

В зарубежной философской и физической литературе нередко употребляются неправильные термины: «аннигиляция материи» и «материализация энергии». Эти термины могут породить представления о превращении частиц материи в «ничто», о рождении материи из «чистого» движения. Такие выводы вытекают из неправильного определения понятия материи. Некоторые философы и физики считают материей только те формы, которые имеют собственную массу (массу покоя); фотоны или нейтрино в таком случае уже не являются материей. Взяв на вооружение термины «аннигиляция материи», «материализация энергии», «превращение материи в лучистую энергию» и др., идеалисты говорят, что современная физика доказала возможность исчезновения материи, а следовательно, опровергла материализм. В действительности же этими новыми открытиями физики лишний раз подчеркивают правильность гениального ленинского положения о том, что выражения «материя исчезает», «материя сводится к электричеству» и т. п. представляют собой лишь гносеологически беспомощные выражения той истины, что удастся открыть новые формы материи, новые формы материального движения, свести старые формы к этим новым и т. д.

Новейшие достижения физики, выразившиеся в открытии новых элементарных частиц и новых форм движения (процессы, протекающие в ядрах, аннигиляция), только подтвердили основные материалистические положения. Более того, явление аннигиляции характеризует взаимопревращение элементарных частиц и показывает, что не может быть абсолютного разграничения отдельных форм материи, как это утверждают метафизики. Наоборот, при определенных условиях одни формы существования материи могут превращаться в другие.

Чем же характеризуется явление аннигиляции?

Об аннигиляции пары электрон — позитрон мы уже рассказывали. Разберем теперь, как поведут себя при встрече протон и антипротон. Вся масса этих частиц превратится в лавину квантов. Разлетевшиеся с около-световой скоростью пионы в разные стороны уносят выделившуюся энергию. Они претерпевают различные превращения и порождают разнообразные реакции. В итоге вся масса и энергия столкнувшихся частиц окажутся в «распоряжении» пионов, мюонов, фотонов и нейтрино.

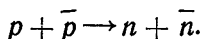
Таким образом, при столкновении атома и антиатома должны происходить бурные процессы аннигиляции как электронно-позитронных оболочек, так и нуклонов и антинуклонов. Аннигиляция сопровождается колоссальным выделением энергии.

Пока еще наука не располагает достаточным количеством данных, которые бы дали возможность судить об эффективности использования энергии аннигиляции. Значительная доля этой энергии приходится на поток нейтрино и очень коротковолновые гамма-лучи, которые слабо взаимодействуют с веществом. Поэтому вряд ли в ближайшее время удастся использовать всю энергию аннигиляции: но если бы это когда-нибудь все-таки удалось, человечество получило бы поистине неисчерпаемый источник энергии. Действительно, при полном взаимодействии вещества и антивещества выделяется в 3 млрд. раз больше энергии, чем при сгорании такого же количества каменного угля, и в тысячу раз больше, чем даст «сжигание» такого же количества урана в атомном котле, и в 133 раза больше, чем при термоядерном синтезе.

До сих пор мы говорили об антиподах заряженных частиц: электрона и протона. Но ведь и у нейтральных частиц могут быть свои антиподы, отличающиеся направлением спина, а следовательно, и магнитным моментом. Одна пара нейтральных частиц (нейтрино — антинейтрино) нами уже упоминалась.

Обнаружение антинейтронов явилось неизбежным следствием экспериментов Сегре и Чемберлена. Антипротон показал антинейтрону короткую дорогу из антимира в лабораторию физиков. Но все-таки и эта частица доставила ученым кое-какие хлопоты.

Может быть, для физиков все обстояло значительно проще, чем нам кажется. И об открытии антинейтрона они рассказали бы нам скорее всего так: был выделен как продукт перезарядки нуклонов. Это означает превращение пары протон — антипротон в пару нейтрон — антинейтрон



Но мы немного дополним «рассказ» физиков.

Когда быстрый протон проникает в ядро атома, он часто претерпевает превращения и вылетает наружу уже как нейтрон. Это было известно довольно давно. Точно

такое же поведение ожидалось и от антипротона. И вот после рождения антипротона на экране одного из сцинтилляционных счетчиков заметили вспышку света, которая была значительно слабее, чем от антипротона. Значит, в счетчик залетела какая-то неизвестная нейтральная частица. Антинейтрон? Посмотрим на следующий счетчик. Здесь частица со взрывом исчезает. Есть аннигиляция: это антинейтрон, столкнувшись с нейтроном, превратился в мезонный вихрь. Этим очень тонким и красивым опытом Корк, Ламбертсон, Пиччиони и Венцель доказали существование антинейтрона.

Когда антипротоны и антинейтроны были обнаружены и изучены, физики натолкнулись на интересный факт. Оказалось, что вероятность участия антипротона в ядерных реакциях значительно превосходит подобную вероятность для протонов и нейтронов. Может быть, античастицы более активны? Нуклоны очень сложны по своему строению и мало изучены. Мы можем представить себе их как непроницаемые керны, окруженные облаком пионов. Но для античастицы ядра оказываются не только проницаемой, но и притягивающей целью.

Существующее между нуклонами и антинуклонами сильное взаимодействие наводит на интересную мысль. Если нуклон с антинуклоном аннигилируют в пионы, то должен быть и обратный процесс. Значит, замедлив пион очень большой энергии, на другом пионе можно создать пару нуклон — антинуклон! В момент рождения пары столкнувшиеся мезоны обладают огромным силовым полем, квантом которого можно считать рождающуюся пару. Отсюда вытекает вполне закономерный вывод, что не только пион может быть квантом взаимодействия нуклонов, но и нуклон — антинуклонная пара может с полным основанием считаться квантом мезонного взаимодействия. Это пример удивительной и очень мало изученной взаимосвязи, существующей между элементарными частицами. Он позволяет нам внести некоторые коррективы в уже знакомую схему строения нуклона. КERN нуклона мы можем рассматривать теперь в виде зоны, в которой существует поле, квантом которого является нуклон — антинуклонная пара. Правда, в этом представлении кроется известное противоречие. Получается, что масса керна нуклон-антинуклонного кванта меньше суммы масс отдельно взятых частиц. Но ведь в

процессе взаимодействия, приводящего к рождению пары, масса может увеличиваться за счет массы движения частиц. Поэтому противоречие здесь кажущееся. Для нас важно, что в обыкновенных частицах содержатся все необходимые материалы для рождения античастиц!

Удивительное проявление великого единства материального мира!

Для человеческого познания нет конечных границ. Границы отступают перед наукой, как линия горизонта перед путешественником. Поэтому там, где сегодня виден лишь край моста, завтра вырастет новый пролет. Мы продолжим наше путешествие в дебрях, где даже теоретики чувствуют себя не слишком свободно. Морально мы имеем на это полное право, завоеванное поколениями маститых и безвестных тружеников жанра, который называют научно-популярным или научно-художественным. Честно говоря, особой заслуги здесь нет. Чтобы высказать смелую догадку, оригинальной мыслью осветить мрак вопросов, по которым нет ни единого мнения, ни достаточного экспериментального материала, ученому требуется известное мужество. Популяризатор же просто пересказывает чужую мысль. Никакого мужества здесь не требуется. Разве что эта мысль может оказаться в противоречии со взглядами рецензента, который обрушит свой гнев на неповинного автора. Но риск присущ всем областям человеческой деятельности.

Две пары призраков

Итак, у нас есть весьма важный вывод, что античастицы могут рождаться из частиц обыкновенных. Но вместе с тем мы должны признать, что нуклон-антинуклонное поле ядра частицы чем-то отлично от поля античастицы. У двух нуклонов ядра взаимно отталкиваются, а у нуклона и антинуклона они аннигилируют. В чем же здесь дело? Пока на этот вопрос нельзя дать определенный ответ. Можно лишь высказать предположение, что ядра нуклона и антинуклона состоят из одного и того же вещества, находящегося в разных состояниях.

Чем дальше подвигается наш рассказ об удивительной истории элементарных частиц, тем все более сложными и уж никак не «элементарными» они выглядят. Если же добавить к этому сложные взаимопревращения, за-

путанные цепи распадов и взаимодействий, то вместо простоты и упорядоченности перед нами возникнет картина хаоса и загадок. Естественно поэтому наше желание как-то систематизировать частицы, о которых здесь было рассказано, прежде чем отправиться в дальнейшее путешествие по микромиру, которое, скажем заранее, подарит нам еще несколько частиц и приведет к ломке и переделке построенной здесь системы.

Прежде всего, сразу же бросается в глаза, что все население микромира можно разделить на частицы и античастицы. И заряженные, и нейтральные частицы имеют свои антиподы. Даже фотон имеет в определенном математическом смысле свою античастицу. Однако в этом случае два решения уравнения могут быть истолкованы совершенно одинаково, так как фотон и антифотон неразличимы. Выражаясь иначе, фотон является собственной античастицей.

Таким образом, мы произвели какое-то разделение, сделали первый шаг по пути классификации обитателей микромира. Но не такое деление характеризует внутренние свойства элементарных частиц. Все зависит от того, что мы будем считать «частицей». Ведь антипротон тоже можно назвать частицей, а протон — его «античастицей». Просто с протоном мы познакомились достаточно давно, да и живем мы в мире протонов, а не антипротонов и естественно поэтому считать частицей именно протон. Зато с мезонами дело обстоит не так просто. Действительно, что считать частицей, а что античастицей у пионов: положительный или отрицательный? Здесь нет такой ясности как у протона — антипротона. Это все равно, что спросить, где луна,верху или внизу.

Какое же разделение, какая классификация позволит наглядно выявить внутренние закономерности микромира?

В конце сороковых годов американские физики Гелл-Манн и Розенбаум выдвинули казавшуюся в то время бесспорной и неизменной «теорию строения вещества из двенадцати частиц». В число этих частиц входили прежде всего такие ветераны, как фотоны, электроны, протоны и нейтроны. Именно они дали жизнь таким понятиям, как масса покоя (у фотона ее нет), электрический заряд, которым не обладают фотон и нейтрон, и разделение частиц по величине спина. Как мы уже знаем, частицы с

половинным значением спина (электроны, протоны, нейтроны) получили название фермионов, с целочисленным (фотоны и пионы) — бозонов. К числу двенадцати частиц присоединились и обнаруженные впоследствии античастицы. По величине массы покоя частицы делились на четыре подгруппы: тяжелые частицы — барионы (протоны, нейтроны и их античастицы), средние — мезоны, легкие — лептоны (электрон, нейтрино и их античастицы) и, наконец, фотоны. Эта теория достаточно точна для объяснения свойств атомов. Но она оказывается весьма грубой, когда с ее помощью пытались разобраться во внутренних процессах в ядре, хотя в общих чертах она давала им некоторое объяснение.

Открытие новых частиц заставило ввести в теорию новое подразделение и показало, что внутренние закономерности микромира все-таки не вскрыты. Переходы одних частиц в другие, различные обратимые процессы и превращения — все говорило о каком-то единстве микромира. Мысль о таком единстве буквально носилась в воздухе. Но ухватить ее не удавалось. Чем больше новых частиц появлялось в таблице микромира, тем сильнее хотелось физикам свести их к какому-то минимальному количеству основных первородных частиц. Поэтому наряду с открытием новых частиц шел обратный процесс их теоретического сокращения. Физика стремилась к единой теории.

Сведения, которыми располагали физики во времена «двенадцати частиц» об элементарных процессах, в целом были настолько неполны, что даже безукоризненная цепь рассуждений могла привести к ошибочным выводам.

Трудно найти лучшую иллюстрацию для этого утверждения, чем существование мюона. Создатели теории строения вещества из двенадцати частиц в одной из статей образно охарактеризовали эту загадочную частицу.

«Здесь мы столкнулись с изысканным коварством природы. Она подкинула нам частицу, у которой, с точки зрения теоретической физики, не было никаких прав и которую использовать разумным способом не представлялось возможным. Мюон является подкидышем, найденным на пороге дома».

Он был открыт прежде пиона, и физики приняли его сначала за искомый квант ядерного поля. Но в чем же

«коварство» и «злонамеренность» этой частицы?

Как мы уже знаем, источником, откуда берут свое начало мюоны, являются пионы:

$$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu,$$

$$\pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}.$$

Эти распады протекают чрезвычайно быстро. Остановившийся пион (именно остановившийся, так как быстро летящий пион будет жить дольше, что связано с известным эффектом теории относительности) живет в среднем $2 \cdot 10^{-8}$ сек.

Казалось бы, нейтральный пион тоже должен был распадаться на нейтральный мюон ($\pi^0 \rightarrow \mu^0$), но, как известно, нейтральный пион распадается на два фотона. Очевидно, что породить нейтральный мюон мешает отсутствие «подходящего» нейтрино. Но так как нейтрино и антинейтрино — частицы разные, то для распада $\pi^0 \rightarrow \mu^0$ пришлось бы придумать «истинно нейтральный» нейтрино, частицу, которая бы подобно фотону совпадала со своей античастицей. Но нейтральный мюон обнаружен не был. Сейчас все уже примирилось с тем, что есть тройка пионов и только пара мюонов. Почему это так? Природа на этот счет хранит глубокое молчание. Существование мюона ни в коей степени не следует из теории двенадцати частиц, хотя известны реакции, в которых мюон проявляет связь с другими частицами. Поэтому мюон оказался первым свидетелем, громогласно заявившим, что теория не полна, а возможно, и неверна. Тем не менее представляет интерес попытаться поместить мюон в эту систему. С одной стороны, все процессы, включающие в себя нейтрино (бета-распад, распад пионов и мюонов), характеризуются примерно одинаковой константой связи, примерно одинаково слабы. Следовательно, мы можем сказать, что мюон принимает участие в слабых взаимодействиях. С другой стороны, мюон имеет электрический заряд и принимает, конечно, участие в электромагнитных взаимодействиях. Поскольку мюон является легким фермионом, представляется разумным сгруппировать его вместе с электроном и нейтрино. Как будто все хорошо, все лептоны существуют парами: μ^+ и μ^- ; e^+ и e^- ; ν и $\bar{\nu}$ и т. д. Но стоит нам обратиться к времени жизни мюона, как наше разумное пред-

положение покажется уже не столь разумным, так как распады, которые мы считали одинаково слабыми, характеризуются разным временем жизни.

Покоящийся мюон распадается в среднем за $2 \cdot 10^{-6}$ сек. Схема его распада своеобразна; он распадается сразу на три частицы — электрон, нейтрино и антинейтрино:

$$\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu + \bar{\nu},$$

$$\mu^- \rightarrow e^- + \nu + \bar{\nu}.$$

Других процессов, при которых бы вылетала пара нейтрино, пока неизвестно. Вероятно, это также особое свойство мюона.

На первых порах казалось, что мюон может распадаться и иначе:

$$\mu^+ \rightarrow e^+ + e^- + e^+,$$

$$\mu^- \rightarrow e^+ + e^- + e^-.$$

Но такой распад никогда обнаружен не был.

Можно было ожидать, что мюон будет распадаться на электрон и фотон:

$$\mu^+ \rightarrow e^+ + \gamma,$$

$$\mu^- \rightarrow e^- + \gamma.$$

Однако неизвестно, почему и такой вид распада не найден. Зато, хотя и редко, протекает более сложный распад:

$$\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu + \bar{\nu} + \gamma.$$

Эти загадки выплыли сразу же, как только физики, увлеченные пионами, вновь обратили свои взоры к мюону. Разрешить эти загадки не так-то просто. Остроумный способ был предложен в этом направлении Б. М. Понтекорво, который пошел по памяtnому нам пути Паули. Путь этот начинался с изобретения новой частицы.

Для того чтобы запретить приведенные выше распады, достаточно предположить, что нейтрино бывают разные. Одни типы нейтрино образуются при распаде мюона, другие при бета-распаде. При распаде электрон сопровождается своим, «электронным» нейтрино (ν_e),

а мюон — «мюонным» (ν_μ). Теперь распад мюона можно записать так:

$$\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu,$$

$$\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu.$$

При таком условии распады без нейтрино оказываются невозможными, так как предполагается, что оба типа нейтрино настолько различны по своей природе, что не могут аннигилировать. В этом случае существование распада $\mu \rightarrow e^+ + \gamma$ означало бы, что $\bar{\nu}_\mu$ и ν_e могут превратиться, вопреки нашему предположению, в фотон.

Всякая гипотеза нуждается в проверке. Доказательством правоты Понтекорво явилось бы сопоставление двух пучков антинейтрино: «мюонных» и «электронных» (из реактора). Первый пучок в отличие от второго не должен вызывать превращение протонов в нейтроны. Так думали теоретики.

Когда Паули постулировал, что у нейтрино должны отсутствовать почти все свойства, присущие частицам вещества, он тем самым наделил неуловимую частицу уникальным свойством проникать сквозь колоссальные толщи. Это сразу же показало, что можно получить поток, состоящий из одних нейтрино. Поэтому, как мы видели, и удалось зарегистрировать вблизи реактора взаимодействие антинейтрино с веществом.

Большой ускоритель в отличие от реактора позволяет расширить нейтринный ассортимент. Кроме антинейтрино, вылетающих при бета-распаде, можно получить нейтрино и антинейтрино пионных распадов. Б. М. Понтекорво и Шапиро (США) показали, что на самых больших из ныне действующих ускорителей можно проследить взаимодействие нейтрино с веществом аналогично тому, как это было сделано с реактором. Такие эксперименты и были поставлены сначала в Женеве, потом в Брукхейвене. Полученные результаты превзошли все ожидания.

Когда нейтрино и антинейтрино сталкиваются с ядром водорода, мы вправе ожидать разных последствий. Нейтрино должно поглотиться ядром, которое в свою очередь выбросит либо электрон, либо отрицательный мюон. Что же наблюдали в Брукхейвене?

Распад положительного пиона породил положительный мюон и нейтрино, которое, попав в ядро, «вытесни-

ло» отрицательный мюон. Если следить только за мюонами, то процесс можно свести, таким образом, лишь к образованию противоположно заряженных мюонов. Точно такой же результат можно ожидать, если пион просто поглотится ядром.

Зато другой возможный вариант процесса, когда можно было ожидать, что поглотившее нейтрино ядро испустит электрон, так и оказался гипотетическим. Электрон не адекватен отрицательному мюону. Разница между частицами оказалась более глубокой, чем это думали раньше. Она далеко не исчерпывалась различием в массе.

Во всех известных реакциях отрицательный мюон и электрон выступают в роли взаимозаменяемых деталей. Но электрон не адекватен мюону. На самом деле взаимозаменяемы пары частиц: электрон со своим электронным нейтрино и мюон с нейтрино мюонным. Говоря словами профессора Я. А. Смородинского, «у каждого из лептонов оказалась своя тень, невесомая и невидимая и тем не менее разная».

Итак, вместо одного нейтрино в природе оказалось целых четыре. И мюонное, и электронное нейтрино обладают левой спиральностью. Иначе говоря, их симметрия подобна симметрии левого винта — они «ввертываются» в пространство против часовой стрелки. Спиральность соответствующих им античастиц, естественно, правая. Но «изобретение» новых нейтрино не сорвало с мюона черную маску загадочности. Чтобы закончить перечень его таинственных свойств, достаточно указать на странную аналогию с электроном. Свойства мюона поразительно напоминают свойства электрона. В последнее время высказываются даже предположения, что мюон — это электрон в какой-то особой, возбужденной форме.

Однако совершенно непонятно, откуда берется тогда такая разница в массе (больше чем в 200 раз). Удивительное сходство и не менее удивительное различие. Непонятно, какую роль играет в природе эта короткоживущая и слабо взаимодействующая с веществом частица, которая в общем служит только промежуточным, кратковременной остановкой в цепи распада пиона:

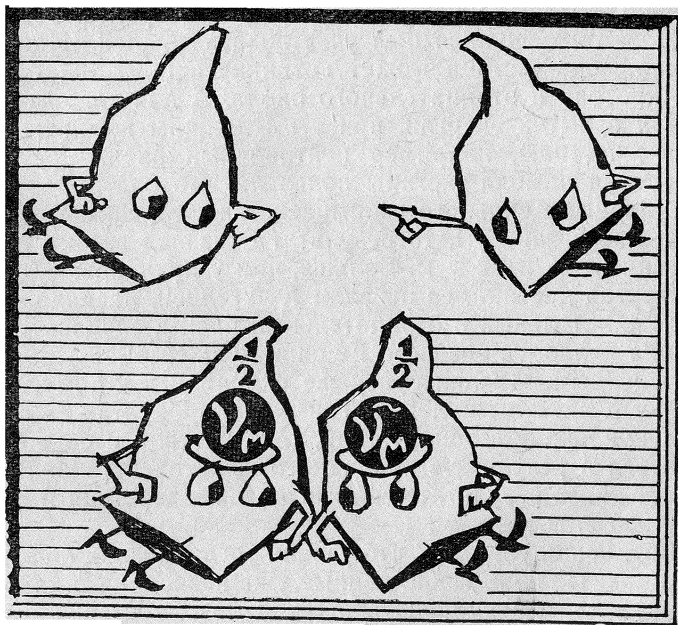
$$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu \rightarrow e^+ + \nu_\mu + \nu_e + \bar{\nu}_\mu,$$

$$\pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu \rightarrow e^- + \bar{\nu}_\mu + \bar{\nu}_e + \nu_\mu.$$

Одно из двух. Или мюон зачем-то «нужен» природе и играет какую-то особую роль в еще неведомых нам процессах, или же у природы просто нельзя спрашивать, зачем существует что-то, как нельзя спрашивать, зачем существует сама природа.

Когорта странных

С открытием мюона в физике кончилась эра «послушных» частиц. Все более сложными и менее понятными становились причудливые следы неизвестных обитателей микрокосмоса в пузырьковых и вильсоновских камерах. Новые частицы проявляли подчас совершенно неожиданные свойства, которые никак не укладывались в рамки предшествующих теорий. В 1947 году Батлер в сотрудничестве с Рочестером (Манчестер, лаборатория Блэккета) обнаружил методом регистрации космических лучей следы неизвестных превращений. Снимки таких превращений напоминали греческую букву Λ .



«Палочки» этой буквы были следами неизвестных и необъяснимых распадов. Физики были вынуждены прийти к заключению, что некая не оставляющая следов в камере Вильсона, следовательно, нейтральная частица распадается на две заряженные, но тоже неизвестные частицы.

Постепенно, по мере тщательного изучения таинственных следов становилось ясным, что к этому интересному явлению причастны по крайней мере две нейтральные частицы. Две новые частицы сразу! Такого еще не было. Причем без всякой теоретической предпосылки. Никто этих частиц не предсказывал, в существующей систематике им не было места.

Когда страсти немного поутихли, физики попытались как-то втиснуть новые частицы в общую схему. По характеру распада одной из них (на фермион и бозон) можно было предположить, что лямбда-частица (так называли незнакомку, распадающуюся на протон и отрицательный пион) является фермионом. Так как при ее распаде образовывался один нуклон, то по законам сохранения, о которых еще будет идти речь, в процессе образования тоже должен был участвовать нуклон. Например, лямбда-частица может возникнуть при столкновении протона и отрицательного пиона. А для того чтобы унести избыток энергии, при этом должны возникать и другие частицы, например нейтральный пион. Частота появления лямбда-частицы показала, что она образуется в процессе сильного взаимодействия. Когда же измерили массу частицы, то результат оказался весьма неожиданным — 2182 э. м. Больше, чем у нуклонов!

Другая частица, ее называли *K*-частицей, распадалась на положительный и отрицательный пионы, следовательно, она являлась бозоном. Ее спин должен быть уже целочисленным. Физики сразу же склонились к тому, что спин у *K*-частицы нулевой. Так как в продуктах ее распада нуклонов не обнаружили, то *K*-частица и не могла родиться в результате нуклонного взаимодействия. Возникает она в результате сильного взаимодействия и «весит» 965 э. м.

Вот, пожалуй, и все, что узнали тогда физики об этих частицах. Правда, такие данные уже позволяли в какой-то мере классифицировать неожиданных гостей. Лямбда-частицу следовало причислить к тяжелым нуклонам,

так как она близка к нуклонам по массе, тоже является фермионом и может образоваться из нуклона. Зато являющуюся бозоном K -частицу, несмотря на трехкратную разницу в массе, поместили к пионам, в мезонную группу.

Но это было голько начало. Не успели физики «окрестить» новорожденных представителей микромира, как фотография запечатлела случай, где буква Λ была образована следами заряженной неизвестной частицы и продукта ее распада. Причем другая вторичная частица была нейтральна и, следовательно, невидима. Затем оказалось, что K -частица может распадаться то на два, то на три пиона. Открытия следовали одно за другим. Десятки (так казалось тогда) неизвестных частиц! Если до сих пор теоретики, чтобы вывести физику из очередного затруднения, «выдумывали» новые частицы, а экспериментаторы по несколько лет старались их обнаружить, теперь все было наоборот — теоретики не знали даже, что делать с новыми неожиданными частицами, которые без всякой помощи теории находили экспериментаторы.

Когда вихрь новых открытий утих, были предприняты первые попытки разобраться в толпе нежданных пришельцев. Их оказалось не так уж много, как это думали в первый момент.

Теперь мы знаем, что загадочные частицы состоят из тяжелых с массой большей, чем у нуклонов (их называли гиперонами), и новых сортов мезонов — K -мезонов, или каонов. Каоны бывают положительно заряженными и нейтральными, а антикаоны поэтому отрицательными и тоже нейтральными. В этом смысле они похожи не на пионы, а скорее на электроны и нейтрино (частицы e^- и ν , античастицы e^+ и $\bar{\nu}$). Но спин у каонов равен нулю, как и пионов.

Гипероны — также представители весьма необычного семейства. Их явно можно подразделить на две группы. В одну из них входит нейтральный лямбда-гиперон (Λ^0) и три сигма-гиперона: положительный, отрицательный и нейтральный (Σ^+ с массой 2327 э. м., Σ^- с массой 2340 э. м. и Σ^0 с массой того же порядка).

Разность масс гиперона и нуклона превышает массу пиона, а потому этим странным частицам свойствен новый, четвертый вид радиоактивности — пионная. Пионная радиоактивность была предсказана впервые членом-корреспондентом АН СССР В. И. Гольданским. Доволь-

но непривычно выглядят и античастицы гиперонов. Антиламбда нейтральна, две антисигмы заряжены (антисигма-минус заряжена положительно, а антисигма-плюс — отрицательно), третья антисигма — нейтральная.

Другая группа гиперонов обнаруживает большее сходство с нуклонами. К ней относятся кси-гипероны с массой 2580 э. м. Бывают отрицательно заряженные кси-плюс и нейтральные кси-нуль гипероны, которые имеют соответствующие античастицы (положительно заряженный антикси-минус и антикси-нуль).

Спины всех двенадцати гиперонов равны $1/2$.

Итак, вместе с четырьмя каонами было открыто 16 частиц. В виде итога напомним их символы: Λ^0 и $\bar{\Lambda}^0$, Σ^+ , Σ^- , Σ^0 и $\bar{\Sigma}^+$, $\bar{\Sigma}^-$, $\bar{\Sigma}^0$; Ξ^+ , Ξ^- , Ξ^0 и $\bar{\Xi}^0$; K^+ , K^- , K^0 и \bar{K}^0 .

Не нужно думать, что все эти частицы были открыты сразу же, точно выпали из рога изобилия. Понадобилось много труда, хитроумных экспериментов и кропотливых анализов. Достаточно сказать, что если первые частицы были, как уже говорилось, открыты в 1947 году, то антисигма-гиперонов пришлось ждать еще целых 13 лет, а антисигма-нуль-гиперон все еще не обнаружен на опыте. В марте 1960 г. в Дубне был открыт антисигма-минус-гиперон и в этом же году антисигма-плюс-гиперон обнаружили в Риме.

Необычность гиперонов и каонов проявляется с момента их рождения. Более того, само существование всех этих различных форм материи представляется сложной загадкой. Если даже принять их существование за само собой разумеющийся факт, то поведение необычных частиц ставит перед наукой трудно разрешимые загадки.

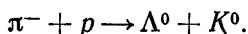
Возьмем хотя бы время распада. Частицы живут от 10^{-8} до 10^{-10} сек, что соответствует в ядерной шкале времени слабым взаимодействиям. Но, как мы видели, образование частиц протекает по законам сильных взаимодействий, которые совершаются за 10^{-23} сек. Это никак не согласуется с принципом обратимости, согласно которому частицы, образующиеся в результате сильных взаимодействий, должны этим же путем и распадаться. Гипероны и каоны, казалось бы, имеют все возможности распадаться в сильных процессах. Взять хотя бы к примеру нейтральную ламбда-частицу. Она превращается в протон и отрицательный пион. Энергия, необходимая для этого процесса, может быть легко найдена.

Масса Λ^0 на 74 э. м. больше, чем суммарная масса протона и пиона, что в переводе на энергию дает 37 Мэв. Это свидетельствует о том, что частица должна распадаться с такой скоростью, с которой она образуется. Причем все эти формальные выкладки могут быть проделаны по отношению к любой из 16 частиц.

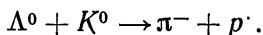
Но на самом деле частицы живут в 10^{14} раз дольше. Именно это огромное расхождение между ожидаемым и наблюдаемым временем жизни обусловило наименование, которое эти частицы получили, — странные частицы.

Чтобы объяснить парадокс странных частиц, некоторые теоретики высказали любопытную идею. Они предположили, что странные частицы появляются только группами: по две и более одновременно. Эта идея была подтверждена экспериментально и сформулирована в виде правила, которое известно теперь под названием «совместное рождение». Совместное рождение основано на том, что порождающее странные частицы сильное взаимодействие каким-то образом всегда действуют не на одну, а на несколько частиц сразу. А процессы такого рода необратимы вследствие энергетических потерь. В этом и состоит хитрость совместного рождения.

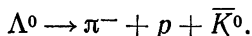
Допустим, что лямбда-гиперон и каон образуются в результате столкновения отрицательного пиона с протоном:



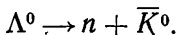
Если применить к этой гипотетической реакции закон обратимости, то



В свою очередь возможен процесс транспозиции K -частицы в античастицу. Лямбда-частица виртуально распадается на пион, протон и анти- K -частицу:



Наконец, лямбда-частица распадается на нейтрон и анти- K -частицу:



Мы, таким образом, попытались заранее предсказать судьбу лямбда-частицы, составить на нее своего рода гороскоп. Этот гороскоп, как и все гороскопы, очевидно, неудачен, так как реакция $\Lambda^0 \rightarrow n + \bar{K}^0$ невозможна по

той простой причине, что суммарная масса дочерних частиц больше, чем масса родителей. Строгий анализ показывает, что каждый возможный случай совместного рождения приводит к аналогичному результату для отдельного распада любой странной частицы, которая порождается. Оказывается, что возможный путь распада требует очень много энергии. Поэтому сразу же после рождения частицы должны расстаться, быстрее унести прочь. Они уходят от гибели посредством сильного взаимодействия и живут до тех пор, пока с ними не покончит значительно менее вероятный слабый процесс.

Нужно сказать, что первое время у физиков не было никаких экспериментальных доказательств совместного рождения. Но как только брукхейвенский космотрой стал «поставлять» странные частицы в большом числе, удалось быстро установить, что правило совместного рождения соблюдается очень строго.

Но, может быть, совместное рождение удастся связать с каким-нибудь более фундаментальным законом природы? Может быть, совместное рождение, которое указывает, что сильные взаимодействия с участием только одной частицы не должны идти, тоже является каким-то завуалированным законом сохранения? Идея этого закона буквально носилась в воздухе. Ведь если странные частицы могут рождаться одновременно лишь в количестве, не меньшем двух, то кто знает, какие сочетания этих частиц допустимы, а какие запрещены. Прежде чем рассказать об этом законе (он действительно существует), нам придется познакомиться с такой характеристикой частиц, как изотопический спин.

Дублеты, триплеты, мультиплеты

Итак, спин изотопический — это прежде всего не есть спин элементарной частицы. Но объяснение того, что он собой представляет, придется начать с обычного, знакомого нам спина. Только рассматривать этот обычный спин мы будем с несколько иной точки зрения. Вообразим, что в нашем распоряжении есть два изолированных электрона. Забудем, что электрону присущи волновые свойства, и представим себе наши электроны в виде корпускул. Поместим эти мельчайшие дробинки, которые, согласно квантовым представлениям, полностью тождественны друг другу, в магнитное поле. Согласно тем же кванто-

вым представлениям, направление спина электронов будет либо совпадать с направлением поля, либо нет. Теперь обе частицы обладают разной величиной энергии, и мы можем различать их друг от друга. Конечно, задача наша чисто умозрительная, но она позволяет нам сделать очень важный вывод, что по отношению к магнитному полю электрон представляет собой дублет. Он может находиться лишь в одном из двух возможных энергетических состояний. Зато при отсутствии магнитного поля мы не можем отличить одно состояние электрона от другого. Физики называют это вырождением, вырождением частицы в состояние неразличимости.

Магнитное вырождение сыграло в истории физики важную роль. Вспомним о присущей нуклонам зарядовой независимости. Эксперименты по отклонению движущихся протонов и нейтронов другими протонами и нейтронами выявили интересное обстоятельство. Оказалось, что ядерные силы или сильное взаимодействие между нуклонами всегда постоянно, независимо от того, какие комбинации нуклонов в нем участвуют. В той мере, в которой это касается сильных взаимодействий, протон и нейтрон ведут себя как одна частица — нуклон. Об этом уже говорилось. Отличить протон от нейтрона нам удастся лишь по их электромагнитному взаимодействию. Если предположить, что электромагнетизм вдруг исчезнет из Вселенной, то тогда протон и нейтрон «выродятся» до неразличимости. Поэтому нуклон мы считаем зарядовым дублетом. Одно состояние дублета — протон, другое — нейтрон.

Такое представление впервые высказал Гейзенберг, который облек его в изящную математическую форму. Так была создана математическая модель нуклона, содержащая некоторую переменную, которая принимает только два значения, соответствующие протону и нейтрону. Математический аппарат, который создал Гейзенберг, очень похож на математическое описание спина электрона, данное Паули. Естественно, что по этой внешней аналогии Гейзенберг назвал свою переменную изотопическим спином. Название это очень удачно и точно. Определение «изотопический» указывает на то обстоятельство, что в принципе протон и нейтрон — изотопы. Они имеют почти одинаковую массу, хотя и отличимы по заряду. Зато слово «спин», возникшее из чистой анало-

гии, может на первых порах запутать картину. Поэтому следует помнить оговорку, которую мы привели вначале: спин и изотопический спин — это не одно и то же.

Если спин представляет собой присущее частице внутреннее движение, то изотопический спин — всего лишь математическая характеристика, дающая возможность отличить протон от нейтрона. Аналогия с настоящим электронным спином довольно полная: изотопический спин нуклона тоже равен $1/2$. Как и спин, изотопический спин может быть $+1/2$ и $-1/2$. Это зависит от ориентации относительно направления отсчета. В квантовой электродинамике принято рассматривать частицу в такой системе координат, в которой ось совпадает с направлением внешнего магнитного поля. Направление отсчета для изотопического спина также идет вдоль оси z , а его проекции обозначаются I_z . Принято, что $I_z = +1/2$ соответствует протону, а $I_z = -1/2$ описывает нейтрон. В математической теории Гейзенберга зарядовая независимость становится законом сохранения. При взаимодействии нуклонов полный изотопический спин сохраняется. Отсюда логически и математически вытекает равенство сил между протоном и нейтроном, протоном и протоном, нейтроном и нейтроном. Нужно сказать, что идея изотопического спина ничего не прибавляет к нашим знаниям о зарядовой независимости и является лишь формой математической интерпретации этой независимости.

Еще в те годы, когда Юкава ввел представление об испускании и поглощении пионов для объяснения загадки ядерных сил, английский физик Н. Кеммер высказал предположение, что понятие изотопического спина может быть распространено и на пионы. Он рассуждал приблизительно так: ядерные силы, включающие в себя виртуальный обмен пионами, независимы от знака заряда. Следовательно, и пионы должны тоже отличаться зарядовой независимостью. А если это так, то почему бы не применить к ним представление об изотопическом спине?

Пионы обладают всеми тремя зарядовыми возможностями. Физик сказал бы, что они образуют зарядовый триплет, который (на секунду представим, что случилось невозможное и все заряды исчезли) потенциально может «вырождаться» в состояние неразличимости.

Группировка частиц в зарядовые дублеты или триплеты (их называют чаще мультиплетами) дает очень

удобный способ их описания. Нам достаточно сказать: пион является триплетом, средний заряд которого равен нулю, чтобы сразу же сообразить, что заряды пиона равны $+1$, -1 и 0 ($+1-1+0=0$), а изотопический спин равен единице и его проекции I_z соответственно составляют $+1$, -1 и 0 .

Точно так же назвав нуклон дублетом со средним зарядом $+1/2$, мы предполагаем, что его заряды равны $+1$ и 0 ($\frac{1+0}{2} = +1/2$), изотопический спин равен половине, а проекции I_z соответственно $+1/2$ и $-1/2$. Если же мы обратимся к антинуклонам, то они образуют дублет со средним зарядом $-1/2$, изотопический спин равен половине, а проекции I_z соответственно $-1/2$ и $+1/2$.

Представления об изотопическом спине и о зарядовых мультиплетах указывают нам еще на одно различие между пионами и нуклонами. Нуклоны образуют дублет со средним зарядом $+1/2$, а средний заряд пионов равен 0 .

Итак, нас интересует, являются ли присущие им взаимодействия зарядово-независимыми и удовлетворяют ли они закону сохранения изотопического спина. В самом деле, может быть, положительные сигма-гипероны совершенно подобны отрицательным и нейтральным, если забыть на время о разнице в электрических свойствах? Присуще ли странным частицам «вырождение»?

Прежде всего, сигма-гипероны образуют зарядовый мультиплет. В этом они подобны пионам, и напрашивается вывод, что их можно классифицировать так же, как пионы или нуклоны. Такая классификация явилась бы признанием того, что тяжелые странные частицы как-то связаны с нуклонами.

Так родилось предположение о том, что гипероны представляют собой дублеты, обладающие изотопическим спином $+1/2$ и средним зарядом $+1/2$ или $-1/2$. Зато K -частицы, заведомо принадлежащие к пионам, были отнесены к триплетам с единичным изотопическим спином и нулевым средним зарядом.

Странные частицы недолго мирились с навязанной им схемой. Они спешили продемонстрировать свои особые странные свойства.

Американец Гелл-Манн и японец Нишидзима независимо друг от друга пришли к убеждению, что стран-

ные частицы могут вести себя совершенно иначе, чем им полагается по уже знакомой нам схеме. Более того, отступления, которые гипероны и каоны делают от этой схемы, и есть ключ к тайне, разгадка странного поведения.

Откуда в самом деле пришло убеждение в том, что гипероны действительно являются дублетами с половинным изотопическим спином? Да ниоткуда. Так как частицы, по всей видимости, имеют какое-то отношение к нуклонам, то для большей простоты и стройности им приписали свойства, которые уже прочно привязывали их к нуклонам. Но желаемое не всегда есть действительное.

Где же крылась загадка гиперонов? Предположим, что тяжелые частицы, вместо того чтобы быть дублетами с изотопическим спином $1/2$, на самом деле представляют собой триплеты с единичным изотопическим спином. Зато K -частицы, наоборот, являются не триплетами, а дублетами.

В этом допущении уже намечаются контуры такого закона сохранения, который сможет объяснить совместное рождение и удивительное долголетие странных частиц.

Странность — это закон

Чтобы описать группу частиц, как мы это уже видели, физику не требуется много времени. Пользуясь «стенографией» микромира, он лишь укажет средний заряд группы и ее мультиплетность. Нуклон — дублет со средним зарядом $+1/2$, пион — триплет со средним зарядом 0. Просто и ясно.

Предположим теперь, что среди гиперонов у нас имеется частица с изотопическим спином и зарядом, равным нулю. Физики называют такие частицы, обладающие лишь одним возможным состоянием, синглетами.

Если таким синглетом окажется, например, нейтральный лямбда-гиперон, то его средний заряд, равный, как мы предположили, нулю, окажется на $1/2$ меньше, чем заряд нуклонного дублета. А так как в то время физики ожидали, что все гипероны имеют средний заряд мультиплета $+1/2$, то лямбда-гиперон оказывается «смещенным» на минус половину единицы заряда. Гелл-Манн предположил, что такое смещение может оказаться важнейшей характеристикой частицы, отвечающей за ее

странность, своего рода мерой странности. Так, в физике появилась новая величина — странность, которая ознаменовала собой одно из самых важных открытий в мире элементарных частиц.

Конечно, может появиться чувство удивления, что физики, даже не попытавшись объяснить необычное свойство новых частиц, взяли и ввели в науку просто новое слово. Может, это всего лишь ловкий трюк? Термин, за которым ничего не скрывается? У тех, кто внимательно следил за историей развития ядерной физики, такие вопросы вряд ли возникнут. Как мы увидим далее, подобные операции проделывались и раньше. Они стали своего рода методом познания, специфическим ключом к отличному от повседневности тайнам невидимой Вселенной. Именно таким путем было введено понятие нуклонного заряда, обеспечивающего сохранение атомных ядер, и понятие электрического заряда, сохранение которого нам кажется абсолютным и естественным свойством вещества только лишь по привычке. Попробуйте-ка ответить на вопрос, что такое вообще электрический заряд!

Странность всех частиц была измерена на опыте по законам рождения. Отличную от нуля странность имеют только гипероны и каоны. Странность обозначается буквой S . У K^+ и K^0 $S=+1$, у K^- и \bar{K}^0 $S=-1$. Ламбда- и сигма-гипероны имеют странность $S=-1$, а их античастицы $+1$. Кси-гипероны обладают странностью $S=-2$, антикси — соответственно $+2$. Сразу же может броситься в глаза, что странность отличается от других видов заряда тем, что она принимает значения 0 ± 1 и ± 2 , тогда как остальные заряды — только 0 и ± 1 . Это только внешняя сторона. Вместо странности можно было, как это делалось раньше, ввести другой коэффициент, который бы явился суммой нуклонного заряда и странности. Если мы сложим нуклонный заряд гиперонов ($N=1$) и странность, точно так же, как нуклонный заряд каонов ($N=0$) и странность, то увидим, что число $Z=N+S$ тоже будет принимать значения 0 и ± 1 .

Но не численные значения отличают странность от зарядов. Различие здесь гораздо более глубокое, кроющееся в самой природе вещества. Не в пример зарядам странность не всегда сохраняется. Когда ламбда-гиперон распадается на нуклон и пион, то это самое явное нарушение сохранения странности. В том, что такой вид рас-

пада существует, сомневаться не приходится. Именно он и привел к открытию нейтрального лямбда-гиперона. Как мы уже знаем, этот распад не совсем обычен, так как Λ -гиперон живет в 10^{13} раз дольше, чем ожидали ранее. За это время он уходит от места образования на колоссальное в ядерных масштабах расстояние — 1 см. Так как за медленный распад ответственность несет особое взаимодействие, то мы можем уточнить понятие странности, заметив, что при слабых распадах странность не сохраняется. В отличие от закона сохранения электрического заряда сохранение странности — закон не абсолютный, а приближенный, связанный с сильным взаимодействием, где он выполняется очень строго. Исходя из принципа зарядовой независимости, мы можем доказать сохранение странности для всех сильных и электромагнитных взаимодействий. В любой реакции этого типа полная странность частиц, вступающих в реакцию, равняется полной странности всех продуктов реакции. Теперь мы можем дать более простое объяснение совместному рождению. Странные частицы возникают при столкновении обычных частиц. А так как странность обычных частиц равна нулю, то и полная странность продуктов реакции тоже должна равняться нулю. Поэтому-то и должны одновременно появляться по крайней мере две частицы, чтобы взаимно погасить присущие им странности. Под уже известной нам реакцией
$$p + \pi = \Lambda^0 + K$$

$$0 + 0 = -1 + 1 = 0$$
 мы можем написать странности частиц-участниц. Очевидно, что суммарная странность в правой и левой частях равна нулю.

Мы видели, что только слабые процессы не удовлетворяют сохранению странности. Далее мы увидим, что в слабых процессах нарушается еще один, на этот раз фундаментальный закон сохранения.

«Мы не знаем сейчас, есть ли какая-нибудь глубокая связь между этими законами и их нарушением, — писал «изобретатель» странности Гелл-Манн. — Во всяком случае совершенно ясно, что в слабых процессах природа скрывает свои многие важнейшие тайны и что одной из основных задач, которые стоят перед физикой, является выяснение законов, управляющих этими процессами».

Как будто бы все странности получили сравнительно простое и логическое объяснение.

Однако нам еще очень и очень многое непонятно в странном мире. Ведь существует этот мир не просто так, не потому, что природе нравится задавать нам загадки. Его существование связано с какими-то особыми свойствами вещества, которые пока сокрыты от нас непроницаемой завесой. Вероятно, на очень малых расстояниях, меньших, чем нам пока удастся достигнуть на самых мощных ускорителях, между частицами протекают какие-то совсем особые, качественно иные процессы.

Но это пока намек на будущее, а нам пора заканчивать наш рассказ о странных частицах.

Итак, гипероны и антигипероны.

Эти частицы (кроме Σ^0) за 10^{-10} сек претерпевают следующие распады:

$$\begin{aligned}\Lambda^0 &\rightarrow n + \pi^0 & \Sigma^0 &\rightarrow \Lambda^0 + \gamma \\ \Sigma^+ &\rightarrow p + \pi^+ & \Lambda^0 &\rightarrow p + \pi^- \\ \Sigma^- &\rightarrow n + \pi^- & \Sigma^+ &\rightarrow p + \pi^0\end{aligned}$$

Мы уже знаем, что в этих распадах странность нарушается. Так как странность нуклонов и пионов равна нулю, то во всех распадах странность изменяется ровно на единицу.

Наиболее тяжелый кси-гиперон распадается по схеме

$$\Xi^- \rightarrow \begin{cases} \pi^- + \Lambda^0 \\ \pi^0 + \Sigma^- \\ \pi^- + \Sigma^0 \end{cases}$$

Аналогичным путем идет и распад Ξ^0 . Но никто еще не наблюдал случаев превращения кси-гиперона в нуклон, хотя энергетически этот процесс вполне осуществим и как будто ничто не мешает распаду:

$$\Xi^- \rightarrow n + \pi^- + \pi^0$$

Вероятно, это не случайно. И хотя странность в слабых взаимодействиях не сохраняется, она все-таки не может изменяться в неограниченных пределах. Уже изменение на две единицы оказывается невозможным. Поэтому мы можем несколько уточнить закон сохранения странности: в сильных взаимодействиях странность сохраняется, в слабых она меняется на единицу.

Этому основному закону с железной последовательностью подчиняются обитатели странного мира.

Теперь становится окончательно ясно, как рождается гиперон. Когда нуклон пролетает рядом с другим нуклоном, обе частицы находятся близко друг от друга такое время, за которое никак не успеет произойти реакция, обратная слабому распаду, когда нуклон может превратиться в лямбда-гиперон, поглотив при этом пион из «шубы» соседа.

При столкновении нуклонов гиперон может родиться лишь за счет сильного процесса, т. е. только с сохранением странности. Естественно поэтому, что гиперон образуется одновременно с положительным каоном.

Кси-гиперон может, не нарушив странности, образоваться из нуклона только совместно с двумя каонами. Этот процесс наблюдается довольно редко.

Принципиально возможно рождение кси-гиперона и одного каона за счет столкновения с ядром лямбда- или сигма-гиперона. Но так как эти гипероны возникают довольно редко, то рождение таким способом кси-частицы требует мощных пучков гиперонов.

Так как гипероны проявляют известное сходство с нуклонами (и те и другие иногда объединяют под общим названием «барионы»), то естественно ожидать от них бета-распад:

$$\Lambda^0 \rightarrow p + e^- + \tilde{\nu},$$

$$\Sigma^- \rightarrow n + e^- + \tilde{\nu}.$$

Вылетающие при этом электроны несут огромную энергию, превышающую иногда 100 Мэв. Казалось очень интересным изучить распад при такой высокой энергии. Достаточно сказать, что именно такие энергичные электроны позволили Хофштадтеру обнаружить размер нуклона. Электроны должны были бы многое рассказать нам о структуре гиперона. Но, к великому огорчению физиков, распады гиперонов оказались настолько редкими, что за несколько лет удалось зарегистрировать лишь около двадцати случаев бета-распада лямбда- и всего несколько случаев — сигма-гиперона.

И это несмотря на предсказания теоретиков! Здесь кроется еще одна загадка: почему гипероны так редко и неактивно испускают электроны?

У кси-гиперонов бета-распад вообще никем не зафиксирован. В какой-то мере это можно объяснить тем, что и самих кси-гиперонов было получено не так уж много, но все же странный запрет на бета-распад намекает нам на какие-то более глубокие интересные тайны.

Непонятно также, почему гипероны не распадаются с излучением мюонов. Гипероны обладают большой массой, и энергии на такой распад достаточно. Высказывались предположения, что гипероны представляют собой особое возбужденное состояние нуклонов, подобно тому, как мюоны, возможно, являются просто возбужденными электронами, а нуклоны и антинуклоны построены из одного и того же вещества, находящегося в разной степени возбуждения.

Какую бы проблему мы ни взяли, углубленное рассмотрение ее приводит нас к какой-то неизвестной гипотетической частице, которая способна в разных степенях возбуждения порождать различные элементарные частицы.

С гиперонами связано очень интересное явление, открытое в 1953 году польскими физиками Данышем и Пневским. Иногда под ударом быстрой частицы из расщепленного ядра наряду с нуклонами и мезонами вылетают какие-то частицы, которые через небольшой промежуток времени выбрасывают пион. Когда непонятный феномен был подвергнут тщательному изучению, то выяснилось, что вылетевший осколок представляет собой ядро легкого элемента, в котором один из нейтронов был заменен ламбда-гипероном. Такие ядра стали называться гиперядрами или гиперфрагментами. Были открыты гиперядра необычного типа: ${}^4_1\text{H}$ (сверхтяжелый изотоп водорода), ${}^5_2\text{He}$ (неизвестный ранее изотоп гелия) наряду с тяжелыми ядрами, в которых нейтрон просто заменен гипероном, например ${}^3_1\text{H}$ (гипертритий) и другие. Гипертритий радиоактивен. За 10^{-10} сек он излучает пион. Сейчас известны гиперядра вплоть до азота. Но, как это ни покажется странным, самое простое гиперядро — систему из ламбда-гиперона и протона (гипердейтрон) — обнаружить не удалось. Эти частицы не могут связаться в ядро, так как силы их взаимодействия оказываются недостаточными. Нужна еще одна частица — нейтрон, чтобы образовать довольно устойчивую систему — гипертритий.

Заканчивая рассказ о странных частицах, нам остается обратиться теперь к каонам. После единичного наблюдения тяжелого мезона с массой около 900 э. м., сделанного Лепренс-Ренге в 1941 г., начиная с 1949 г. в основном лабораторией Пауэлла был открыт ряд частиц с подобными массами. Позднее выяснилось замечательное обстоятельство равенства масс всех K -мезонов в пределах точности эксперимента. Наиболее точное значение их масс можно считать равным 966. Отсюда, а также из близости других свойств каонов возникла гипотеза, что здесь мы имеем дело с одной и той же частицей, которая, однако, способна распадаться различными способами.

Каоны познакомили физиков со многими совершенно новыми явлениями, свойства их разнообразны и отличны от свойств более легких мезонов — пионов. Рождаясь в процессах сильного взаимодействия вместе с гиперонами, они способны также возникать парами (K^+ и K^- , K^0 и \bar{K}^0). Все каоны радиоактивны и распадаются на две или три частицы (π , μ , e , ν), чаще всего со временем жизни порядка 10^{-8} сек.

Отличительной чертой медленных распадов каонов является их поразительное разнообразие. Так как K^+ -частицы сильно поглощаются ядрами, то они исследованы значительно лучше, и на их примере мы можем проследить все разнообразие свойственных каонам распадов. Положительный каон может распадаться одним из семи способов:

$$K^+ \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \pi^+ + \pi^0 \text{ } 2\pi \text{ распад} \\ \pi^+ + \pi^0 + \pi^0 \\ \pi^+ + \pi^+ + \pi^- \end{array} \right\} 3\pi \text{ распад}$$

$$K^+ \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} e^+ + \nu + \pi^0 \text{ } 3e \text{ распад} \\ e^+ + \nu \text{ } 2e \text{ распад} \\ \mu^+ + \nu + \pi^0 \text{ } 3\mu \text{ распад} \\ \mu^+ + \nu \text{ } 2\mu \text{ распад} \end{array} \right.$$

Написанные справа принятые названия распадов часто обозначаются так: $K_{\pi 3}^+$ — 3 π распад, $K_{\mu 2}$ — 2 μ распад и т. д.

Подобные распады характерны и для отрицательного, и для нейтрального каона. Ни одна частица микромира не может похвастаться таким ярким и удивительным многообразием.

Много горячих дискуссий и проверочных экспериментов понадобилось для доказательства того, что регистрируемые приборами каскады самых разных распадов принадлежат на самом деле одной и той же частице.

Именно каонам, точнее нейтральным каонам, было суждено поколебать один из самых фундаментальных законов природы — закон сохранения четности. Но прежде чем расстаться с каонами, мы познакомимся со свойствами K -нуль- и анти- K -нуль-мезонов, которые исключительно разнообразны и отличны от свойств других нейтральных частиц.

K -нуль-мезон не является абсолютно нейтральной частицей — K^0 и \bar{K}^0 не тождественны. Вместе с тем они могут без всякого внешнего воздействия, совершенно произвольно, превращаться друг в друга. Таким образом, родившийся, например, при столкновении пиона с протоном K^0 с течением времени будет как бы «колебаться», превращаться в свою античастицу и возвращаться в исходное положение. В этом смысле частица, родившаяся первоначально как K -нуль-мезон, является двуликой: она пребывает то в образе K^0 , то в образе его античастицы \bar{K}^0 . Поэтому K -нуль-мезоны там, где речь идет не об их рождении и поглощении, должны вести себя как абсолютно нейтральные частицы. Это и имеет место при распаде: в этом процессе нейтральные каоны проявляются как две абсолютно нейтральные частицы, времена жизни которых могут, конечно, различаться. Массы их тоже различаются, хотя всего лишь на одну стомиллиардную долю. Их даже обозначают часто не K -нуль и анти- K -нуль (K^0 и \bar{K}^0), а K -один-нуль и K -два-нуль (K_1^0 и K_2^0).

Природа и зеркало

Вновь мы возвращаемся к уже затронутым проблемам «правизны» и «левизны», нейтрино и антинейтрино; вновь будем говорить о слабых взаимодействиях.

Именно этот класс реакций готовил физикам один из самых ошеломляющих сюрпризов. Именно слабые вза-

имодействия позволили человеку впервые заглянуть в миниатюрное «космическое» пространство микромира и увидеть его таким, каким оно есть на самом деле.

Как известно, после столкновений частиц высоких энергий в области сильных взаимодействий образуется много отходов — различных неустойчивых продуктов. Слабые взаимодействия и были «призваны» путем медленного распада очистить поле брани для новых мощных столкновений, для новых ядерных битв.

Это началось в не столь далекую пору, когда физики ломали голову над загадками странных частиц, и мысль, что одна и та же частица может по-разному распадаться, только брезжила за туманной завесой различных предположений.

Две «странные» частицы распадались на пионы: одна — на три, другая — на два. Так как тогда считали, что разные пути распада характеризуют разные частицы, то первую называли тау-мезоном (τ), вторую — тета-мезоном (θ). И вот здесь-то был обнаружен парадокс: и тау-, и тета-частицы проявили совершенно одинаковые свойства. У них совпадали буквально все параметры: масса, относительная частота возникновения в разных взаимодействиях, время жизни.

Мы уже знаем, что это один и тот же тип частицы, а именно K -мезон. Но обозначения τ и θ остались по сей день и характеризуют частицы с трех- и двухмезонным распадом.

Если с различными путями распада частицы физики и могли как-то примириться, поскольку уже давно были известны различные способы распада многих ядер радиоактивных элементов, то совершенно необъяснимо было другое. Однако прежде мы должны познакомить читателя с еще одним законом микромира — законом сохранения четности.

Этот закон означает, что волновая функция элементарной частицы сохраняет либо положительную, либо отрицательную четность.

Четность в физике — это не четность, к которой мы привыкли в арифметике. Физическая четность характеризует симметрию частиц по отношению к левой и правой сторонам пространства и их поведение при зеркальной замене правой стороны на левую и наоборот. Такое изменение (инверсия) означает перемену знаков прост-

ранственных координат *хуз*. Такая перемена равносильна отражению в зеркале.

В самом деле, стоит поднести к зеркалу, например, шар и мы увидим, что он полностью совпадает со своим зеркальным двойником. Это зеркально-симметричный предмет. Но если взять вместо шара винт, станет ясно, что отражение винта вместо правой нарезки имеет левую. Человек, винт, раковина моллюска и абсолютное большинство физических тел — зеркально-асимметричны. Аналогично зеркально-симметричным и зеркально-асимметричным предметам квантовая механика различает состояния с положительной и отрицательной пространственными четностями, или четные и нечетные.

Отсюда видно, что несохранение четности означает, что симметричность или асимметричность предмета зависят не от его природы, а от того, в какой системе координат мы его рассматриваем: в «предзеркальной» или «зеркальной». Но эти системы отличаются только тем, что правое заменено на левое и наоборот. Значит, несохранение четности заставляет предположить о неравноправии «левого» и «правого» в пространстве. Однако против этого восставали и здравый рассудок, и многократные опыты в области сильных взаимодействий, где сохранение четности было так же нерушимо, как и закон сохранения массы.

Но так или иначе, а загадка «тау—тета» требовала своего разрешения. Конечно, гораздо легче было предположить, что здесь имеет место распад двух разных частиц, и сохранить закон четности. Но частицы вели себя совершенно одинаково, и ничто не свидетельствовало об их различии.

Не так просто сказать, что дважды два не есть четыре, даже если ты в этом убежден. Примерно в таком положении находились работающие в США молодые китайские теоретики и будущие нобелевские лауреаты Ли Цзун-дао и Янг Чжень-нин.

Но они не только высказали исключительное по смелости предположение, что причиной «загадки тау—тета» является несохранение пространственной четности в слабых взаимодействиях, но и указали пути экспериментальной проверки этого предположения.

Суть экспериментов заключалась в следующем. Нужно было как-то поляризовать распадающиеся в процес-

се бета-распада частицы или ядра, чтобы установить, куда чаще вылетают электроны: в направлении спина распадающейся частицы или против него. И вот в конце 1956 года группе физиков во главе с Ву Чьен-шьюнг удалось под действием магнитного поля и температур, близких к абсолютному нулю, ориентировать ядра кобальта-60 так, что их спины были направлены в одну сторону.

Все теоретики с волнением ждали результатов этих замечательных опытов. Уверенность во всеобщем характере закона сохранения четности была так сильна, что в плену ее находились даже крупнейшие физики нашего времени. Так, за два дня до окончания экспериментов китайских физиков Паули писал: «Я не верю в то, что Бог — слабый левша, и я готов держать пари на крупную сумму за то, что эксперименты дадут результаты, соответствующие наличию симметрии». Неизвестно, принял ли кто-нибудь предложенное пари или нет, но так или иначе Паули должен был его проиграть. Эксперименты подтвердили гипотезу китайских физиков. Закон сохранения четности в области слабых взаимодействий был низвергнут. Левое и правое направления действительно оказались неравноправны. Вскоре это было подтверждено работами Колумбийского и Чикагского университетов в реакциях распада пионов и мюонов.

Не оправдался закон сохранения четности и в распаде заряженного K -мезона на мюон и нейтрино.

Но чтобы окончательно отказаться от сохранения четности в слабых взаимодействиях, нужно было решить еще одну проблему. Дело в том, что все процессы, где наблюдалось нарушение четности, сходились в одном: среди конечных продуктов распада наблюдалось как минимум одно нейтрино. Поэтому с окончательным ниспровержением закона спешить не следовало. Возможно, что нарушение четности есть характерная черта нейтрино, которое, мы об этом упоминали, уже спасло один из основных законов физики. Но не слишком ли много требовать этого от нейтрино дважды?

Интересно еще одно обстоятельство. В нашумевшей загадке «тау—тета» нейтрино не участвует. Да и несохранение четности здесь доказано только косвенно, хотя именно этот процесс и послужил завязкой описываемых событий. Поэтому на повестку дня встал вопрос: дока-

зять несохранение четности хотя бы для одного процесса, где не участвует нейтрино. Только тогда можно будет с полным правом утверждать, что нарушение четности присуще всем слабым взаимодействиям без исключения.

Такие опыты были поставлены весной 1957 года.

На протоны направили пучок отрицательных пионов высокой энергии. В результате столкновения протона с пионом должны образоваться две «странные» частицы: Λ^0 -частица и K -мезон.

Распадаясь, Λ^0 -частица обычно рождает отрицательный пион и протон. Через линию полета исходного пиона (бомбардируемой частицы) и линию Λ^0 -частицы можно мысленно провести плоскость. Теперь можно будет проследить, куда полетит образующийся при распаде Λ^0 -частицы пион. Из всех возможных направлений полета пиона нас будет интересовать только два: вверх и вниз от воображаемой плоскости. Но где у нас верх, а где низ? Здесь можно условиться следующим образом. Если указательный палец правой руки направить вдоль линии полета исходного пиона, а средний по траектории Λ^0 -частицы, то будем считать, что большой палец указывает вверх. Конечно, все можно проделать и с левой рукой. Тогда наши верх и низ поменялись бы местами. Но нам просто важно как-то отличить одно направление от другого. Итак, если закон четности верен и природе «безразлично» любое направление, то образующиеся пионы с одинаковой вероятностью будут вылетать и вверх, и вниз. Но эксперимент этого не подтвердил. По правилу правой руки пионы предпочитали чаще вылетать вверх.

Так удалось окончательно удостовериться, что природа делает различие в выборе направлений, и правое неравноправно левому, а верх — низу. Но так ли это бессмысленно, как кажется на первый взгляд?

Спасти симметрию во что бы то ни стало

Академик Л. Д. Ландау, например, сразу же после открытия Янг Чжень-нина и Ли Цзун-дао обратил внимание, что симметрия в мире не исчезла, наоборот, она приобрела более естественный вид. Л. Д. Ландау пришел к выводу: абсолютная симметрия может быть только там, где нет полей. Зато реальный мир должен быть

несимметричен. Это его непреложное свойство, связанное с «неравноправием» частиц и античастиц. Ведь мы живем в мире, где преобладают протоны и нейтроны, а не антипротоны и антинейтроны.

Продолжим мысленные эксперименты, которыми мы занимались, знакомясь с проблемой «правизна—левизна», и попробуем вообразить себе зеркало с чудесными свойствами. В нем предмет не просто отражается, это зеркало способно еще и заменить частицу соответствующей античастицей. То есть происходит то, что физики называют зарядовым сопряжением.

Для чего нам нужно такое зеркало? Дело в том, что в слабых взаимодействиях не безразлично не только выбираемое направление, но и то, какие частицы участвуют в процессе. Частицы или античастицы. Или, как бы сказал физик, слабые взаимодействия не инвариантны ни относительно пространственной инверсии, ни относительно зарядового сопряжения.

Но если обе эти операции провести одновременно, то есть сменить правое на левое и наоборот, а частицы заменить соответствующими античастицами, то свойства системы, как мы уже знаем, не изменяются.

Чтобы пояснить это, мы вернемся к нашей аналогии с отражением зеркально-асимметричных предметов. Когда мы смотрим в зеркало, то сердце у нас с правой стороны, а винт, что у нас в руках, имеет правую резьбу. Но если мы повторим такое отражение еще раз, то сердце вернется на левую сторону, левой станет и нарезка винта. Мы получим изображение, полностью тождественное предмету.

Аналогично свойство симметрии будет сохраняться в любой системе, при замене левого на правое и частиц на античастицы. Л. Д. Ландау назвал это свойство комбинированной четностью.

Из сохранения комбинированной четности следует еще одно правило. Оказывается, все слабые взаимодействия безразличны (инвариантны) к инверсии времени. То есть описание взаимодействия не зависит от замены будущего на прошедшее! Это позволяет, например, рассчитать вероятность образования A и B при столкновении C и D , если нам известна вероятность, с которой протекает обратный процесс образования C и D в результате столкновения A и B .

А. И. Алиханов, Г. П. Елисеев и В. А. Любимов доказали опытным путем (с точностью до нескольких процентов) сохранение временной, а следовательно, и комбинированной четности.

Комбинированная четность позволила пролить луч света и на самый темный участок «лабиринта» микромира, тот, где обитают нейтрино и антинейтрино. Было установлено, что они подобно фотонам не имеют массы покоя и спин одной частицы всегда совпадает с направлением движения, а другой — противоположен.

Стало ясно, что раз при комбинированной инверсии мы «меняем» частицы на античастицы и правое на левое, то и направление поляризации должно быть изменено. Не просто было определить направление поляризации для нейтрино и антинейтрино. Но после многочисленных опытов физики все же установили, что нейтрино поляризованы против направления движения, а антинейтрино — по направлению. То есть спин первых направлен навстречу движению, а вторых — противоположно.

Вполне естествен вопрос: раз закон сохранения пространственной четности не соблюдается в слабых взаимодействиях, почему он должен соблюдаться в сильных или электромагнитных? Ответ на него дал молодой советский ученый В. Г. Соловьев.

Пространственная четность будет сохраняться только в электромагнитных взаимодействиях и в таких видах сильных, где участвуют нейтральные пионы. Почему? Нам легко ответить на это. Ведь фотон и нейтральный пион — единственные частицы, не имеющие античастиц, вернее частицы, являющиеся одновременно и античастицами. Поэтому перемена заряда для них ничего не меняет, а значит, и левое будет равноправно с правым.

Зато когда в сильных взаимодействиях участвуют странные частицы, закон четности не должен соблюдаться. А раз это так, то поскольку в какой-то мере, пусть небольшой, странные частицы принимают участие в промежуточных состояниях любых сильных взаимодействий, то какое-то нарушение закона сохранения пространственной четности будет проявляться и здесь.

Итак, значит, вместо закона сохранения пространственной четности в природе господствует закон сохранения комбинированной четности. А равноправие правого и левого — это только частный случай, следствие равно-

правила некоторых частиц с античастицами? До самого последнего времени на подобный вопрос последовал бы утвердительный ответ. Без тени сомнения.

А природа настаивает на своем

Но сменив закон сохранения четности законом сохранения комбинированной четности или C — P -инвариантности (C — изменение знака заряда, P — переход из правой системы в левую, и наоборот), физики отделились, как говорится, малой кровью. Странностям микромира была уплачена явно недостаточная дань. Вряд ли история какой-либо другой физической идеи дает нам столь наглядную иллюстрацию диалектического закона отрицания отрицания, чем трансформация закона четности, совершающаяся прямо на наших глазах.

Комбинированная инверсия Л. Д. Ландау устраивала всех. Действительно, рассматривая лишь одно вещество вне связи с антивеществом, мы неоправданно нарушали симметрию мира. Так собственно и было, когда физики столкнулись с загадкой тау—тета. Ландау как будто бы разрешил ее. Но и здесь мы опять возвращаемся на «круги своя»: в июле 1964 года была опубликована работа четырех американских авторов: Христенсена, Кронина, Фитча и Текрли. В ней излагались результаты опытов с K_2^0 -мезонами, распады которых обнаружили, по-видимому, нарушение C — P -инвариантности. Опять каоны преподнесли сюрприз.

Если бы закон сохранения комбинированной четности был справедлив, то распад K_2^0 -мезона должен был протекать следующим образом:

$$K_2^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^- + \pi^0.$$

Между тем опыт показал, что K_2^0 распадается не на три, а только на два пиона: положительный и отрицательный. Комбинированная четность строго запрещает такой распад.

Посмотрим, что говорит по этому поводу один из авторов упомянутой работы Дж. Кронин: «Приблизительно год тому назад мы начали проводить опыты с пучками K_2^0 -мезонов с целью проверить, сохраняется ли C — P -инвариантность при распадах этой частицы. Было рассмотрено 22 тысячи случаев распада K_2^0 -мезонов и в 45 из них

было обнаружено отклонение от закона $C - P$ -инвариантности. Опыты ставились так, что после распада K_2^0 -мезона продукты распада фиксировались обычными системами отклонения в магнитном поле и регистрировались искровыми камерами и черенковскими счетчиками. Были измерены эффективные массы двух получающихся π -мезонов, и оказалось, что исходная масса равна сумме масс двух, а не трех π -мезонов. Предположение, что в пучке имелись другие K -частицы, например K_1^0 , отпадает, так как опыт проводился в 20 м от ускорителя (K_1^0 на таком расстоянии полностью распадается).

Мы не можем найти объяснение этому удивительному опыту; есть все основания считать, что результаты его указывают на нарушение $C - P$ -инвариантности. Но пока еще слишком рано делать заключение, какие следствия вытекают из данного опыта. Мы предполагаем провести новые эксперименты, которые, возможно, прольют свет на это интересное свойство частиц или пространства».

Если опыты американских исследователей не получат достаточно четкого объяснения, встанет весьма сложная проблема. Пожалуй, даже более сложная, чем загадка тау—тета. Интересно, кто K -мезоны сфокусировали в себе основные противоречия микромира, его странные квантовомеханические проявления.

Проведенные в Принстоне эксперименты показывают, что существуют определенные процессы, зеркальное отображение которых не может существовать даже в антимире. Природа, по-видимому, не столь уж симметрична, как это нам до сих пор казалось.

Естественно, что сразу же после опубликования этой статьи должны были появиться работы, «спасающие» фундаментальную идею инвариантности природы. Так появилась интересная гипотеза, объясняющая результаты экспериментов с каонами существованием особой, еще не известной «пятой силы». Напомним, что на сегодняшний день известно лишь четыре силы: ядерная, электромагнитная, слабая и гравитационная. Все четыре силы совершенно безразличны к направлению времени.

Но опыт с каонами поставил перед физиками беспощадную альтернативу: либо отказаться от существующих теоретических представлений, либо спасти их, по-

жертвовав инвариантностью относительно изменения направления времени.

Для спасения инвариантности относительно обращения знака времени выдвинуто уже около двух десятков гипотез. Одна из них основывается на том, что запретный распад на два пиона — это первое реальное проявление пятой силы, более слабой, чем даже гравитация.

Пятая сила по-разному проявляет себя у нас и в антимире. Когда ее источником является обычное вещество, знак силы один, в случае же антивещества знак противоположен. Если допустить, что вся наша Галактика состоит из обычного вещества (а это скорее всего именно так), то почти весь потенциал пятой силы на земной поверхности обусловлен обычной материей. На все античастицы в наших опытах эта сила влияет по-иному, чем на обычные частицы. Она постулируется, это вполне естественно, так, что ее интенсивность и асимметрия должны быть как раз достаточны для того, чтобы превращать с некоторой вероятностью нейтральные K_2^0 -мезоны в нейтральные мезоны K_1^0 , которые могут распадаться на два пиона, не нарушая $C - P$ -инвариантности.

Эта остроумная, хотя и произвольная гипотеза вполне доступна проверке, если увеличить энергию распадающихся K_2^0 -мезонов. Если пятая сила не отличается особыми неожиданными и непредвиденными свойствами («хорошо ведет себя», как говорят физики), то число распадов на два пиона должно возрасти в 100 раз при повышении энергии каонов в десять раз, как это следует из основных законов квантовой механики.

Опыты, проведенные независимо двумя группами исследователей в Швейцарии и Англии, дали однозначный ответ. Они показали, что вероятность распада на два пиона не меняется с увеличением энергии K_2^0 -мезона от 1 до 10 Гэв. Гипотеза пятой силы не подтвердилась. Таким образом, стало ясно, что распад на два пиона не связан с превращением K_2^0 -мезона в K_1^0 -мезон. Такой загадочный распад является следствием истинного нарушения закона сохранения комбинированной, а следовательно, и временной четности. Очевидно, придется все же отказаться от одного из фундаментальных законов сохранения. Несомненно, это будет иметь для теоретической физики далеко идущие последствия.

В каком же направлении будет развиваться эта важнейшая проблема? В конце июня 1965 г. в Дубне проходила научная сессия Отделения ядерной физики АН СССР, посвященная вопросам физики элементарных частиц. Открылась она обзорным докладом И. Ю. Кобzareва о возможном несохранении зарядовой четности в электромагнитных взаимодействиях. Обратите внимание, речь идет не о слабых, а об электромагнитных взаимодействиях — одном из самых благополучных разделов физики! Сохранение зарядовой четности, как известно, состоит в том, что для частицы взаимодействия различаются только знаком. В большинстве случаев это неуклонно соблюдается. Однако у физиков в последнее время появились основания считать, что в электромагнитных взаимодействиях может, вообще говоря, проявиться и несохранение зарядовой четности. Если это действительно так, то мы получим естественное объяснение прынстонского эффекта несохранения $C - P$. Если несохранение $C - P$ связано именно с электродинамикой, то относительная редкость распада $K_2^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-$ получит, наконец, разумное объяснение. Итак, слово, как всегда, за экспериментом.

Мюон — это взбесившийся электрон?

Открытие несимметричного распада ядра кобальта-60 в магнитном поле не только заставило физиков пересмотреть существующий еще со времен Лейбница закон сохранения четности и заново обсудить вопрос о свойствах пространства. Одновременно открылась возможность более тщательно исследовать свойства мюонов.

Теория с высокой точностью предсказывает магнитный момент электронов. Интересно поэтому было предпринять попытку измерить магнитный момент мюона для проверки применимости к нему электромагнитной теории. Любое отклонение от предсказываемой величины проливало бы свет на структуру мюона.

Несохранение четности при слабых взаимодействиях давало возможность получить на ускорителе мюонный пучок с преимущественным направлением спинов частиц. Более того, при распаде мюона на электрон, нейтрино и антинейтрино электроны должны были бы вылетать преимущественно в направлении, противоположном спину

мюона. Это давало в руки физиков замечательную возможность не только ориентировать мюоны, но и определить эту ориентацию по электронам распада.

Предполагаемые исследования обещали дать ответ еще на ряд вопросов первостепенной важности, таких, например, как применимость электромагнитной теории к очень малым участкам пространства. Ответив на вопрос, на какие расстояния распространяются электромагнитные силы, физики получили бы неоценимые сведения о природе микрокосмоса. Это дало бы возможность проверить смелую гипотезу Гейзенберга о структуре пространства и времени. Несколько слов об этой гипотезе. Немецкий физик предположил, что время и пространство дискретны, то есть не обладают свойством непрерывности. Значит, должна существовать какая-то порция, своего рода квант длины, много меньший любой длины, с которой когда-либо нам приходилось иметь дело. На расстояниях меньших этого кванта длины (конечно, таких расстояний быть не может) невозможны никакие, даже мысленные эксперименты.

Точно так же должен существовать и временной квант, самый меньший временной промежуток, в котором еще мыслимо протекание каких-то процессов. Теоретики предполагают, что квант времени вряд ли может быть меньше чем 10^{-40} сек.

Но вернемся к проблеме мюона. Вспомним, что магнитный момент частиц выражают в магнетонах. Отнеся выраженный в магнетонах спиновой магнитный момент к величине спинового момента, мы получим так называемый g -фактор.

В сущности можно особенно не раздумывать над этой довольно сложной и требующей пространного объяснения проблемой. Достаточно просто запомнить, что есть такой g -фактор, — и все.

Так вот, Дирак предсказал, что для электрона g -фактор равен 2. Это было блестяще подтверждено экспериментом. Вскоре после второй мировой войны в Колумбийском университете провели более точные измерения g -фактора электрона и выяснили, что он отличается от 2 на 0,01. Как будто совсем не на много! Но это отклонение, названное аномальным магнитным моментом электрона, не давало физикам покоя. Так продолжалось до тех пор, пока аномалию не объяснили уже известным

нам эффектом виртуального поглощения и излучения электроном световых квантов.

А вдруг такое же явление можно обнаружить и у мюона! Это было заманчиво. И в 1957 году с самой величайшей точностью измерили g -фактор мюона. Вообще-то можно было бы непосредственно измерить с точностью до 0,00001 магнитный момент мюона. Но, к сожалению, теория не может предсказать величину магнитного момента, а лишь значение g -фактора, и для вычисления магнитного момента нужно знать массу мюона, точность измерения которой не превышает 0,0001. Поэтому пришлось измерение g -фактора мюона ограничить тоже точностью в 0,0001. А так как отклонение g -фактора от 2 составило 0,001, то его вычисление через найденное значение магнитного момента давало весьма приближенную величину.

Таким образом, сделать определенные выводы по такому важному явлению, имея ошибку в 10%, было трудно.

В последнее время стало известно, что в Колумбийском университете было проведено непосредственное измерение магнитного момента мюона. Масса мюона оказалась равной $208,76 \pm 0,02$ э. м. Но все же, несмотря на высокую точность определения массы, g -фактор мюона определяется пока с точностью до 10%.

Интересный метод нахождения g -фактора мюона предложили в Европейской организации по ядерным исследованиям. Более трех лет понадобилось ученым на постановку задуманного эксперимента. Наконец, в конце 1961 года им удалось получить значение g -фактора, равное $2,001145 \pm 0,000022$. Теория же давала значение g -фактора 2,001165. Отсюда вытекал интересный вывод, что с точностью до 1% в аномальной области g -фактора мюон ведет себя подобно тяжелому электрону. Вспомните гипотезу о том, что мюон — это электрон в состоянии возбуждения! Круг опять замыкается! Теорию нужно пересмотреть, нужны новые взгляды на структуру пространства и времени.

Измерение g -фактора мюона пролило свет еще на одно важное обстоятельство. Оказалось, что законы электромагнитного взаимодействия сохраняются вплоть до расстояния $7 \cdot 10^{-14}$ см и что если фундаментальный квант длины существует, то он никак не больше $2 \cdot 10^{-14}$ см.

Так что поиски кванта пространства будут продолжаться лишь в области расстояний меньших 10^{-14} .

Загадка мюона выросла в сложную проблему, решить которую в настоящее время нельзя. Есть лишь надежда, что новые эксперименты с мюонами больших энергий позволят физикам продвинуться еще на шаг по дороге в Незнаемое.

Еще сравнительно недавно мы могли бы сказать, что рассказ о странных частицах завершает обзор обитателей микромира. Но в последнее время в физике элементарных частиц вновь началось оживление. Оно было вызвано результатами протупывания нуклонов электронами высокой энергии. Физики обратили внимание, что некоторые детали электромагнитной структуры нуклона оказались такими, как если бы связанное с нуклоном мезонное облако содержало кроме пионов еще два новых типа мезонов. Были высказаны идеи, что элементарных частиц гораздо больше, чем мы это до сих пор предполагали. Но это уже никого не пугало. Всем стало ясно, что путь к единству лежит через многообразие. Чем больше мы откроем новых элементарных частиц, тем успешней станут наши попытки дать единую картину мира.

Итак, были найдены новые типы мезонов. Один из них должен существовать в трех формах: положительной, отрицательной и нейтральной и распадаться на два пиона. Второй должен иметь только нейтральную форму и распадаться на три пиона.

Новые мезоны живут очень недолго, около 10^{-22} сек, поэтому обнаружить их можно было лишь по конечным продуктам распада.

Путь к обнаружению новых частиц пролегал через кропотливый анализ пар и троек пионов, образующихся при столкновении частиц высоких энергий. Физики обратились к обычному в этих случаях методу нахождения «резонансов» — особенно часто встречающихся значений энергий при распадах. Так, при энергии 750 Мэв еще в 1960 г. был найден двухпионный резонанс. Его можно было рассматривать как свидетеля существования частицы с массой 1460 э. м. Частица получила название «ро-мезон» (ρ). Ее свойства оказались именно такими, какие требовались для объяснения результатов опытов по протупыванию нуклонов быстрыми электронами.

Через несколько месяцев в печати появились результаты экспериментов по отысканию трехпионных резонансов. Первый резонанс нашли в области энергии 770 Мэв. Казалось бы, поиск можно было закончить. В таблицу элементарных частиц вписаны два новых мезона (вторая частица была названа «омега-мезон» — Ω). Что же еще?

Но с омега-мезоном не все было гладко. Масса его почему-то превышала значения, даваемые теорией, исходящей из нуклонной структуры. Группа американских физиков под руководством А. Певзнера предприняла поиски новых трехпионных резонансов. Кропотливый труд увенчался успехом. Физики обнаружили еще один трехпионный резонанс, отвечающий частице в 1100 э. м., получивший название «эта-мезон».

Вот и получилось, что физики искали две частицы, а нашли целых три! Открытие новых мезонов поставило перед теоретиками сложнейшие задачи. На повестке дня стоит теперь новая теория ядерных сил и нуклонной структуры, учитывающая существование ро-, омега- и эта-мезонов. Но главное, это три новые ступени к вершине, которую именуют общей теорией, связывающей все элементарные частицы в единую систему.

Скрижали микромира

Мы не раз опирались в доказательствах тех или иных представлений на законы сохранения. Настало время поговорить о них подробнее. Читатель, возможно, даже подметил, что, несмотря на все разнообразие, превращения частиц подчиняются каким-то законам. Тяжелые частицы сами по себе не могут превратиться в легкие, электроны не могут стать фотонами и т. д. В чем же здесь дело? В физике есть классический закон — закон сохранения электрического заряда. Какие бы изменения и превращения ни претерпевали частицы, все равно алгебраическая сумма их электрических зарядов должна оставаться постоянной. Поэтому при столкновении двух электронов не образуются ни фотоны, ни нейтрино, которые, как известно, электрически нейтральны. Другое дело, если электрон столкнется с позитроном. Алгебраическая сумма разноименных зарядов равняется нулю, поэтому продукты аннигиляции имеют полное право быть нейтральными.

Подобно закону сохранения электрического заряда должен существовать и закон, который бы воспрещал превращение тяжелых частиц в легкие. Ведь при столкновении протона и электрона не образуется, допустим, позитрон и фотон, хотя, согласно закону сохранения электрического заряда, это возможно. Так в физике возникло понятие ядерного, или барионного заряда. Подобно электрическому заряду, барионный заряд может быть либо положительным, либо отрицательным, либо нейтральным. Так, протоны и нейтроны обладают барионным зарядом, равным $+1$, антипротоны и антинейтроны, равным -1 , лептоны и мезоны -0 . Чтобы понять всю важность закона сохранения барионного заряда, достаточно представить себе, что такого закона нет. В этом случае исчезла бы всякая стабильность атомных ядер, а возможно, что и существование атомов как таковых.

Для легких частиц Я. Б. Зельдович ввел еще и понятие «нейтринный заряд» и, как вытекающее отсюда следствие, закон сохранения нейтринного заряда. Для электрона и нейтрино нейтринный заряд равен $+1$, у позитрона и антинейтрино он соответственно -1 . Согласно закону сохранения нейтринного заряда, мюон может распадаться на электрон, нейтрино и антинейтрино, но не может, например, распадаться на электрон и два нейтрино, хотя оба предыдущих закона такой распад разрешают.

Эти три закона зарядового сохранения подобны трем китам, которые, по представлению древних, держали на себе Землю. Эти законы строго определяют всевозможные превращения элементарных частиц. Знание этих законов дает нам возможность полнее осветить такой важный для нас вопрос: чем отличны друг от друга частицы и античастицы?

Теперь мы с полным правом можем охарактеризовать античастицу как двойник соответствующей частицы, у которого знак всех трех зарядов изменен на противоположный.

Как уже известно, не всякая частица располагает своим антиподом. Фотоны, рожденные электроном и позитроном, неотличимы. Световой квант — истинно нейтральная частица, частица и античастица одновременно, точно так же, как и нейтральный пион. Как это связать с законами сохранения?

Если мы посмотрим на таблицу элементарных частиц, то увидим, что у истинно нейтральных все три заряда: электрический, ядерный и нейтринный — равны нулю. А нуль есть нуль в любой системе. Поэтому нет разницы между фотоном и антифотоном.

Нужно признать, однако, что в нашем рассказе есть элемент формализма. Мы ведь ни словом не обмолвились о том, почему законы сохранения именно такие, как их только что перечислили, а не какие-нибудь иные. И это совсем не праздный вопрос. Это очень важный вопрос, за которым кроется какое-то важное и, вероятно, довольно простое явление. Но на сегодняшний день, а возможно, и на долгий период времени мы должны принять законы сохранения как нечто данное. Это в первую очередь относится к закону сохранения электрического заряда. Мы принимаем этот закон как один из основных законов мира.

Что же касается законов сохранения ядерного и нейтринного зарядов, то здесь добавляется одно весьма интересное обстоятельство. Как таковых, в полном смысле слова, ядерного и нейтронного зарядов нет. Есть нечто, что мы по аналогии с электрическим зарядом тоже имеем зарядами.

Рассмотрим это сначала на примере закона сохранения ядерного заряда. Формулировка этого закона не должна противоречить явлению аннигиляции. Поэтому сразу же условимся, что, подобно тому как из уравнения выбрасываются одинаковые, но с разными знаками одночлены, мы при подсчете числа нуклонов будем выбрасывать все пары нуклон — антинуклон. Это обязывает нас все антинуклоны брать со знаком минус. Но отрицательное число частиц, вернее античастиц, противоречит нашим повседневным привычкам. Действительно, мы подсчитываем реальные объекты, но получаем отрицательное число. Это просто не очень удобно. Отсюда и аналогия с зарядом. И мы, говоря поэтому о числе нуклонов или антинуклонов, употребляем приписываемое им понятие «заряд».

Теперь о нейтринном, или, как еще называют, лептонном заряде. Роль закона сохранения лептонного заряда состоит в том, чтобы разрешать распад нейтрона с вылетом антинейтрино (или бета-распад какого-либо другого ядра)

$$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}$$

и запрещать распад

$$n \rightarrow p + e^- + \nu,$$

разрешать распад

$$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu$$

и запрещать распад

$$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \bar{\nu} \text{ и т. д.}$$

Лептонный заряд приписывается, естественно, лептонам. Антинейтрино, позитрон и положительный мюон имеют лептонный заряд $+1$, соответствующие им античастицы -1 . Все остальные частицы лептонного заряда не имеют. Для них он равен нулю. Роль лептонного заряда не вполне выяснена. Еще неизвестно, имеет ли он вообще право на жизнь. Это связано с существованием мюонного и электронного нейтрино.

Эксперимент, о котором уже шла речь, показал, что в распадах

$$\pi^+ \rightarrow e^+ + \nu_e,$$

$$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$$

вылетают два разных сорта нейтрино, поэтому приходится вводить и два сорта лептонных зарядов. Весь вопрос в том, насколько это правильно?

Законы сохранения зарядов вносят известные ограничения в неопределенность и противоречивость самого термина «элементарная частица». Как мы уже не раз убедились, частицы отнюдь не элементарны. В чем же сущность ограничительных мер законов сохранения?

Возьмем, например, нуклоны. Нейтрон превращается в протон, а протон в нейтрон. В первом случае (чисто формально) более элементарным будет протон, во втором случае — нейтрон. Но если взять оба случая сразу, то придется признать, что обе частицы не вполне элементарны. Мы не можем, в частности, строго сказать, сколько в ядре протонов, нейтронов и связывающих их пионов. Зато, пользуясь законами сохранения, можно утверждать, что число нуклонов (т. е. нуклонный заряд, равный, естественно, массовому числу) вполне опреде-

ленно. Заряд ядра также определен. Отсюда вытекает интересный вывод, что понятие нуклона более близко отвечает всем тем свойствам, которые мы приписываем элементарной частице, чем понятия нейтрона и протона в отдельности.

Точно так же лептон, более элементарная частица, чем, например, электрон и позитрон. Электрон в обычном состоянии также окружен «облаком», так как вокруг него постоянно рождаются и исчезают электронно-позитронные пары. Мы имеем право даже именовать электрон системой, в которой постоянно меняется число электронов и позитронов. Но лептонный и электрический заряд системы всегда постоянен, поэтому мы говорим об этой системе как об элементарной частице.

Более того, если бы странность сохранялась так же строго, как и заряды, то странность тоже можно было бы именовать неким четвертым зарядом, определяющим число гиперонов.

Но, как мы видели, странность сохраняется лишь приближенно. Гиперон, хотя и очень редко, может превращаться в нуклон и пион. Вот почему, с точки зрения строгой теории, о гипероне нельзя говорить отдельно, и мы вынуждены отнести его к нуклонам. Но во многих задачах, где не страшно пренебречь слабыми распадами, странность можно тоже считать зарядом.

Теперь ясно, что лишь один электрический заряд определяет не только число заряженных частиц, но и по закону Кулона действующую между ними силу. Все остальные законы служат только для подсчета частиц.

3 ЧАСТЬ

В ПРЕДДВЕРИИ ЕДИНОЙ ТЕОРИИ

К основам мирового единства

«Все элементарные частицы «состоят», так сказать, из одной и той же субстанции, которую можно назвать просто «энергией» или «материей», их способность превращаться друг в друга должна вытекать из простого закона для материи». Эти слова принадлежат Вернеру Гейзенбергу.

С древнейших времен человечество грезило о единой основе всего сущего, стараясь представить себе «кирпичи» мироздания. Что такая основа существует, люди чувствовали инстинктивно.

Сколько раз, казалось, основа была найдена. Но проходило время, и она оказывалась призрачной. И вновь ученые накапливали факты, чтобы еще одна песчаная башня гипотез рухнула под напором новых открытий. Так создавалась наука, так она окрепла.

Что, кажется, могло быть убедительней созданной Ньютоном механической картины мира? Ведь люди тогда думали, что физика — это наука без будущего. Она объясняла все, она включала в себя все, она была проста и логична. Ей больше некуда было развиваться.

Но вдруг появились электричество и магнетизм. Высшая материя, не обладающая массой покоя и не подчиняющаяся классической механике. Потом было обнаружено, что никакое тело не может двигаться со скоростью большей, чем 299 776 километров в секунду. И ньютоновская механика стала только частным случаем релятивистской механики, механики околосветовых скоростей. Опять нужно было собирать воедино разрозненные и необъяснимые факты, чтобы создать единую теорию, на этот раз на основе электромагнитного поля. Но открытие нейтронов и мезонов еще более усложнило задачу.

В двадцатые годы нашего века опять попытались создать единую картину мира на базе геометризированной

единой теории поля. Успех теории относительности вызвал к жизни попытку связать воедино гравитацию и электромагнетизм, но в стороне оставались элементарные частицы. Но геометризованная теория оказалась несостоятельной. Потом была создана атомная картина физического мира с ее двенадцатью (теперь уже тридцатью с лишним) частицами.

Казалось, что об элементарных частицах известно уже немало: достаточно точно описаны их свойства и определены количественные характеристики, установлены типы частиц и их систематика, известны основные виды взаимодействий. Ученые уже не смотрят с растерянностью в открывшийся перед ними странный мир. Они научились ориентироваться в нем, а то, что вчера казалось невероятным, ныне стало обыденным. Теперь физики могут объяснить протекание сложнейших процессов, вести расчеты, получая величины, довольно близкие к экспериментальным. Теоретики предсказывают существование и априорные свойства новых частиц. Но единой теории элементарных частиц пока еще нет. Нет даже уверенности, что такая теория появится в ближайшем будущем.

Задача научного познания — это не столько накопление фактов, сколько обнаружение кроющихся за ним закономерностей. Мало знать массу, спин или заряд частицы. Главное — это дать ответ на вопрос, почему масса электрона, например, $9 \cdot 10^{-28}$ г, а не какая-то иная. Зачем в природе существует мюон? Почему нейтрон именно в 1838 раз тяжелее электрона, а пион — только в 264 раза? Почему время жизни различных частиц так разнится и почему заряды ограничиваются только тремя возможностями: $+1$, 0 и -1 ?

Кипплинговские «пять тысяч Где, семь тысяч Как, сто тысяч Почему». Конца им во всяком случае не видно.

В журнале «Америка» как-то был опубликован прогноз развития науки и техники на шестидесятые годы. Там предсказывалось успешное решение в ближайшие годы многих труднейших проблем. Здесь были и животные с искусственным сердцем, и радиотелескопическое исследование границ Вселенной. Но создание общей теории элементарных частиц было отнесено к туманным «горизонтам будущего».

Связь свойств, лежащих в основе классификации элементарных частиц с их поведением при различных взаимодействиях, неизбежно подводит нас к мысли о единой теории, выводящей свойства различных типов частиц из единого процесса взаимодействия, принимающего различные формы. Сложность этой задачи прежде всего лежит в ее многоплановости. Единая теория частиц и полей должна вывести из единой посылки значения масс и зарядов большого числа различных типов частиц, объяснить существование изотопических семейств, теоретически получить характерные особенности различных полей и определить константы связи для различных взаимодействий.

Прежде чем рассказать о попытках сведения многообразия частиц к единой частице, попробуем более детально осветить проблему, которую мы раньше бегло затронули. Эту проблему можно кратко озаглавить так: «Установление критерия элементарности».

Почти все авторы научно-популярных работ по ядерной физике решают эту проблему довольно просто. Они констатируют, что элементарные частицы вовсе не элементарны, и предлагают брать этот термин в кавычки. Это и правильно, и неправильно. Элементарные частицы действительно не элементарны, но у нас нет достаточных оснований именовать их неэлементарными частицами. Здесь дело не столько в терминологии, сколько в сути вещей.

В статье японского физика Саката Сёити, построенной в форме диалога между *А* и *Б*, вопрос об установлении критерия элементарности выливается в крупнейшую проблему физики и философии. Вот небольшой отрывок.

«*А*. Очевидно, с точки зрения материалистической диалектики элементарные частицы следует рассматривать как один из уровней строения материи?»

Б. Именно так. Говоря об элементарных частицах, мы должны иметь в виду, что сейчас известно множество видов этих частиц, поэтому, очевидно, их нельзя рассматривать как частицы материи, относящиеся к одному и тому же уровню ее строения (т. е. различные элементарные частицы в разной степени элементарны — Е. П.).

А. Видимо, исходя из этой идеи и создана «составная» модель элементарной частицы?

Б. Проблема структуры элементарных частиц стано-

вится в последнее время уже практической проблемой. С тех пор как Юкава впервые предложил свою нелокальную теорию, условия в значительной степени изменились. Можно сказать, что теперь, когда отказались от точечной модели, наступило время, когда необходимо создать какую-то нелокальную теорию.

А. С этой точки зрения следует, очевидно, полагать, что позиция, утверждающая, что элементарные частицы являются пределом делимости материи, становится препятствием на пути развития современной физики.

Б. Может быть, было бы ошибкой считать, что элементарные частицы дробятся на множество более мелких частиц, однако если основываться на существовании субквантового уровня, о котором говорят Бом и Вижье, то следует, очевидно, признать, что вновь предлагаемая ими модель в виде релятивистской жидкой капли открывает в этой связи самые различные возможности.

А. Не считают ли они, что элементарные частицы состоят из корпускул субквантового уровня строения материи, подобно тому как материя состоит из элементарных частиц?

Б. Можно представить себе, что пространственное тело состоит из корпускул субквантового уровня, а элементарные частицы в этом отношении подобны углам айсбергов, выступающих над поверхностью моря. В обычной квантовой теории материя и пространство разделены. Что же касается точки зрения Боме, то в ней, очевидно, можно найти тесную связь с теорией относительности Эйнштейна».

Таким образом, очевидно, что попытка установить критерий элементарности далеко выходит из области терминологии или даже философии. Это прежде всего выбор пути, ведущего к построению единой теории поля, это возможность обоснования дуализма материи и пространства — времени. В нашей же, узкой задаче — это самый дальний поиск в субквантовый мир, в микромир микромира.

При всех разногласиях, которые разделяли старших натурфилософов ионийской школы, было у них одно общее, оставившее неизгладимый след в истории физики. Этим общим было единое первоначальное вещество, которое превращается во все другие вещества и из которого развивается все; умопостигаемые атомы — последняя

субстанция всех наблюдаемых явлений — ответственные за все изменения, происходящие в чувственно воспринимаемом мире.

Такое понимание атома без всяких изменений вошло в естествознание. Без привлечения понятия об атоме нельзя понять ньютоновское определение массы как меры количества материи, пропорциональной ее плотности и объему.

Ньютоновское понимание атома, закреплённое всем дальнейшим ростом классической физики, просуществовало очень долго. Генрих Герц различные виды энергии (электромагнитную, химическую, тепловую) сводил к кинетической энергии невидимых и однородных материальных точек. Максвелл тоже придерживался ньютоновских представлений об атоме. Появившееся в классической физике новое понятие химического элемента по сути было адекватно атому. Даже современные ученые в тех случаях, когда на первый план выдвигается не атомистическая теория, а свойства и поведение макротел, которые нужно объяснить свойствами и поведением микротел, тоже используют принцип демокритова атома.

Но развитие естествознания и философии шло и по другому пути, противопоставляя идеям атомизма идеи непрерывной материальной субстанции. Аристотель рассматривал материю как нечто входящее в состав вещей, то, из чего вещи возникают. По Аристотелю пространство сплошь заполнено материей; следовательно, не существует ни пустого пространства, ни мельчайших неделимых частей материи — атомов.

Декарт вообще отрицал представления древних об атомах и пустоте как основах мироздания. Лишь «бесконечно делимая материальная непрерывная субстанция, атрибутом которой является протяженность», могла, по мнению Декарта, быть основой всего существующего.

Картезианская концепция развития материи не сразу утвердилась в физике. Нужны были теория электромагнетизма Фарадея — Максвелла и классическая теория поля, чтобы эта концепция получила достаточное, как казалось тогда, обоснование.

Физика конца XVII и начала XVIII века выдвинула роковую концепцию, что в передаче силы тяготения должна как-то участвовать промежуточная среда между телами. Действие на расстоянии без посредства всякого

опыта с точки зрения чистого механизма представлялось попросту бессмыслицей. Попытки объяснить тяготение были предприняты картезианцами, считавшими, что все тела могут взаимодействовать лишь при соприкосновении друг с другом.

В связи с этим возникает любопытная ситуация. Если мы будем рассуждать достаточно строго, то идея взаимного соприкосновения ничем по своей сути не отличается от идеи действия на расстоянии, не существует абсолютного соприкосновения атомов, иначе атомы слились бы и материя не была бы дискретной. Отсюда возникла необходимость приписать атомам силы, которые препятствуют их слиянию. Как известно, физика разрешила возникшее противоречие путем введения понятия поля. Но какой ценой пришлось заплатить за это!

Не элементарная и не частица

Взаимодействия элементарных частиц разыгрываются в столь малых областях пространства и времени, что физики просто лишены возможности непосредственно наблюдать за ходом этих ядерных эффектов. Люди могут лишь регистрировать конечные результаты взаимодействий, протекающих в столь отличном от окружающего мире. Но где бессильны приборы, всемогуща мысль. Опираясь на конкретный материал конечных результатов, предположим, это будет фотопластинка, где заряженные частицы оставили причудливые черные следы, физик мысленно переносится в неведомый мир, создает сначала абстрактные модели, а потом уже и математическую теорию процесса. Теория — ключ к самому изощренному шифру природы.

Качественно новый характер квантовых закономерностей могучим потоком вытекает из родника, который пробился на поверхность в самом начале века. Речь идет все о том же конечном кванте действия, открытом Планком в 1900 году. Право, здесь есть глубокий символический смысл. Трудно придумать лучшее начало для нашего атомного и космического века. Какой блестящий итог строгой и прекрасной в своей законченности классики.

Открытие дискретной природы действия не только преобразило физику и смежные с ней области естествознания, но и обогатило философию. Речь идет ведь не толь-

ко об электронных уровнях. Проблема гораздо шире. Она касается всего, в том числе и искусства. Потому что суть ее не столько в излучении абсолютно черного тела, сколько в характере человеческого познания. Потому-то так неодолимо влекут нас тайны материи, так глубоко и сильно волнуют загадки времени и пространства, что всякий раз ставят перед нами вопрос о границах нашего познания, о его мощи и слабости, о еще невыявленных возможностях.

В чем же все-таки качественное своеобразие квантовых закономерностей и обусловленных этим теоретических представлений? Мы говорили уже о частицах, которые распространяются как волна и не обладают траекториями, взаимодействуют друг с другом на расстоянии и превращаются в свет. Но по сути мы лишь постулировали их необыкновенные свойства. А хотелось бы добраться до самых глубин, показать, почему все происходит именно так, а не иначе. Тут-то и возникает непреодолимый барьер между формулами и словесным описанием. Мы пишем и говорим по законам здравого смысла, которого как раз и нет в формулах, отражающих квантовые процессы.

Впрочем, очевидно, дело обстоит не так уж безнадежно. Не было еще случая, чтобы физик в разговоре с любопытным неспециалистом вдруг онемел. Всегда находят слова, неожиданные аналогии, совершенно дикие метафоры.

Квантовая теория состоит из двух частей. Это вполне законченная нерелятивистская квантовая теория элементарных частиц и релятивистская механика. Но поскольку релятивистская теория обобщает и развивает законы нерелятивистской квантовой механики, их рассматривают обычно в неразрывном единстве. Поэтому и все своеобразие релятивистской теории нельзя постичь без привлечения основных выводов квантовой механики.

Разберем три основные и в общем-то уже известные нам закономерности, вскрытые нерелятивистской теорией, и проследим, насколько глубоко отличаются они от классических законов.

Итак, вернемся к тому, что частицы не обладают траекторией. Это проявление относительности таких, казалось бы, определенных понятий, как импульс или координаты частицы в пространстве. Отсюда же вытекает и

разделение материи на вещество и поле, т. е. опять-таки уже знакомый корпускулярно-волновой дуализм. Квинт-эссенция дуализма в том, что мы просто не можем описать, точнее, представить себе распространение элементарного кванта ни в качестве частицы, ни как волновой процесс. Это и ни то, и ни другое! Впрочем, иногда говорят, что это и то, и другое. Но это не что иное как проявление великого единства противоположностей.

Вторая особенность, впрочем, как и первая, вытекает из конечности постоянной Планка. Эта особенность несет в себе новое качество, возникающее из взаимодействия микрообъекта с классическим макроприбором. Прибор — необходимый инструмент познания. До тех пор, пока приборы служили познанию окружающего нас мира, все шло хорошо. Но как только мы направили эти сугубо классические «макроаппараты» в микромир, сразу же возник конфликт несоответствия систем. Иначе и быть не могло. Мы по самой своей природе способны создавать лишь макротела. Но не отказываться же из-за этого от познания самых фундаментальных основ мироздания.

Нерелятивистская теория показала, что нам не удастся полностью абстрагироваться от средств наблюдения при характеристике состояния микрообъекта. Частица по-разному ведет себя в различных макроусловиях и поведение ее зависит от характера измерения.

Разобраться во всех этих необыкновенно важных и достаточно сложных вещах можно, лишь точно определив понятие так называемой Ψ -функции. Не будем пытаться перевести это сугубо математическое понятие на обычный язык. Скажем только, что эта волновая функция входит в уравнение Шредингера — одно из основных уравнений математики микромира — и характеризует состояние индивидуальной частицы.

Итак, вопрос сводится к тому, относится ли эта математическая величина только к результатам измерения или же характеризует объективное состояние частицы до, а может быть, и после измерения. Вот в чем вопрос. Поистине гамлетовская дилемма, от решения которой зависит очень многое. Вдумываясь в эту дилемму, мы начинаем понимать, что опять речь идет о чем-то большем, чем квантовая механика сама по себе. Опять где-то в глубине встает вопрос о характере познания сущности

микрообъекта по его макроскопическим проявлениям. Значит, вновь задумываемся мы об особенностях человеческого познания вообще.

Интересующая нас функция не зависит от конечной стадии измерения. Поэтому-то она представляет собой объективную характеристику индивидуальной частицы. Это очень важно — объективную, т. е. не зависящую ни от наших желаний, ни от типов наших приборов. Но в то же время эта же функция характеризует и своеобразие взаимодействий микро- и макротел, определяя вероятность того или иного результата измерений. До измерения бессмысленно судить, скажем, о распределении частицы по импульсам и координатам. Оба эти понятия, взятые одновременно, непригодны для описания поведения обитателя микромира. Но это одна точка зрения. Есть и другая, диаметрально противоположная. Она базируется на утверждении, что злополучная волновая функция относится только к результатам измерений, а потому и судить об объективном состоянии частицы до измерения не имеет смысла.

Известно, что противоположности сходятся. Сходятся во мнении, хотя бы они этого или нет, и сторонники двух противоположных интерпретаций сущности волновой функции. Суть в том, что ни та, ни другая интерпретация не являются последовательными. Истина не лежит «где-то посередине», как часто принято говорить. Истина всегда выше крайних точек зрения. Она возникает как новое качество в новом революционном скачке.

Третья особенность квантовых процессов касается вероятностных законов — фундаментальных основ микромира. Дело в том, что индивидуальная частица может обладать целым спектром значений импульсов и координат. В макромире аналогий этому нет никаких. Поэтому на языке классических понятий микроявления могут быть описаны лишь статистически.

Закон же причинности в микромире вообще не может быть сформулирован с помощью классических понятий. Он формулируется на языке волновых функций.

Подводя итоги, можно сказать, что квантовомеханическое описание успешно разрешает все противоречия между квантовой природой частиц и классическими представлениями о пространстве и времени.

Посмотрим теперь, какое новое качество вносит в основные особенности нерелятивистской теории ее дальнейшее развитие и обобщение на область больших (релятивистских) энергий. Короче, познакомимся теперь с особенностями релятивистской теории.

Цель релятивистской теории объяснить существование и взаимопревращение всех элементарных частиц. Размножение и взаимопревращаемость частиц, а также тесная взаимосвязь между характеристиками таких взаимодействий и суть то новое качество, которое несет в себе релятивистская теория. Математический аппарат ее должен стать катализатором, который осуществит долгожданный синтез релятивистских и квантовых представлений. Нужно гармонически объединить уравнения, в которые входит скорость света c , с уравнениями, включающими в себя постоянную Планка.

Беда заключается в том, что, говоря словами проф. В. Я. Файнберга, «в настоящее время такой теории не существует. Но если говорить точнее, то она давно уже зародилась (в 30-е годы), непрерывно развивается и, несмотря на все (может быть кажущиеся?) внутренние противоречия, неизбежно должна привести к созданию последовательной релятивистской квантовой теории элементарных частиц».

Странная ситуация. Как только начинаем говорить о квантовой механике, так сразу же сталкиваемся с противоречиями. С одной стороны, теории еще нет, с другой — она уже давно зародилась и успешно развивается. Мало того, что она изучает прерастранные объекты, обладающие непостижимыми свойствами. Теперь неизвестно даже, существует ли она или только присутствует в нашем мире, не имея лица, как подпоручик Киж.

Сейчас существует два основных подхода к решению задач, стоящих перед релятивистской теорией. Оба они, правда, отталкиваются от заданных зарядов, масс, спинов известных элементарных частиц. Но есть надежда, что скоро удастся преодолеть такое ограничение. Трудно рассказать о сущности подходов к решению проблем релятивистской механики. Никак не избежать таких понятий, как вторично квантованная амплитуда вероятности (первый подход) или метод S -матрицы (второй, аксиоматический подход). Поэтому более целесообразно говорить не о сущности этих изящных математических выкладок,

а о той пользе, которую они могут принести. Конечно, каждая новая попытка разрешить противоречия односторонне выпячивает какие-то характерные черты «истинной» релятивистской теории и применима в весьма ограниченной области. Но именно эти драгоценные черточки «истинности» и помогают нам постигать абсолютную истину. Капля к капле, блеск к блеску, и вырисовываются в тумане сверкающие контуры новой теории.

Хоть и в незаконченной форме, релятивистская теория элементарных частиц все же существует. Более того, оба подхода, описание которых мы хитро обошли, не привели пока ни к одному качественному расхождению между предсказанием и экспериментом.

Разберем же основные черты релятивистской теории, которые так отличают ее от ставшей уже классической теории нерелятивистской. Черты эти не связаны с какой-либо конкретной математической формулировкой и так или иначе вытекают из несохранения числа и природы частиц в результате их взаимодействия.

Релятивистская теория вскрывает еще более глубокую относительность и еще теснее ограничивает область применения классических понятий. Она не только более радикальна, чем нерелятивистская теория, но и показывает относительность многих ее фундаментальных понятий. Взаимодействие релятивистских частиц нельзя уже отображать волновой функцией заданного числа объектов. Поэтому в области больших энергий эта функция вообще теряет смысл, а вместе с нею и бушующие вокруг нее споры. Большие энергии — это прежде всего маленькие расстояния, ничтожные промежутки времени. Там иные законы, иные пространственно-временные формы. Это ключ к иному микромиру, более изощренному, чем микромир нерелятивистской механики.

Нам важно, что самые специфические квантовые свойства получают в релятивистской теории исчерпывающее и естественное объяснение. В сущности исчезают последние различия между классическим полем и квантовой частицей. Между этими понятиями обнаруживается глубокое внутреннее единство. И всякие противопоставления вещества полю становятся бессмысленными.

В релятивистской теории частица — это квант возбуждения соответствующего поля. Более того, даже сами понятия «частица» и «поле» сливаются в некое еди-

ное квантовое поле. При взаимодействии различных квантовых полей кванты-частицы могут рассеиваться, размножаться, превращаться в другие кванты-частицы.

Как мы потом увидим, диалектика понятия «элементарная частица» отчетливо вырисовывается при анализе таких свойств, как точечность взаимодействия и структура частиц. Релятивистская теория дает этим понятиям конкретный, скорее даже наглядный смысл. Так, в частности, даже отдельно взятая частица не может быть локализована в области пространства $\lesssim \left(\frac{h}{mc}\right)^3$, где m —

масса частицы. Вот почему даже при отсутствии взаимодействий понятие точечной частицы теряет всякий смысл. Так все дальше углубляется отход от очевидности, начатый при постулировании первых законов квантового мира. Элементарная частица не только перестала быть «элементарной» в узком смысле этого слова, она вообще перестала быть частицей! И если мы говорим, что элементарная частица — это и не волна, и не корпускула, то с таким же основанием можно сказать: не элементарная и не частица.

Учет взаимодействия приводит к тому, что частицы приобретают пространственно-временную структуру. И если в релятивистской теории, так же, как в нерелятивистской, невзаимодействующие частицы характеризуются массой, зарядом, спином и др., но не обладают внутренней структурой, то при взаимодействии обнаруживается вся глубина различия между обеими теориями. Понятие структуры в релятивистской теории неотделимо от взаимодействия. Говоря иначе, структура обнаруживается лишь при тех или иных реакциях между частицами. Бессмысленно говорить о структуре частицы, взятой сама по себе. Вздумай частица гулять сама по себе, как киплингеская кошка, релятивистская теория считала бы ее просто несуществующей.

Релятивистская теория более глубоко вскрывает и взаимосвязь состояния микрообъекта с макроприбором. Здесь проявляется еще большая относительность средств наблюдения. Это выражается, в частности, в том, что в одних условиях электрон может обладать определенным импульсом, в других — определенной координатой. Таким образом, говорить о координате или импульсе электрона в рамках нерелятивистской механи-

ки можно лишь после воздействия на частицу определенного прибора. Так разрешается противоречие в самой основе. Блестящий пример спирального развития теории.

Наконец, третья черта релятивистской теории состоит в том, что все большую роль начинает играть понятие вероятности. Углубление квантовой теории характеризуется все более и более последовательным отказом от применимости классических представлений в малых пространственно-временных областях. Здесь есть некоторая аналогия со специализацией научных дисциплин вообще, которая приводит к тому, что исследователь все больше знает о все меньшем. Если верить Бернарду Шоу, то скоро мы будем знать все ни о чем. Но это, конечно, лишь остроумный парадокс.

А что такое — элементарность?

Развитие атомистики, идеи которой проходят через всю историю естествознания, не ограничивалось одним лишь поиском субстанции, являющейся последней основой наблюдаемых явлений.

Поднятый ею вопрос о критерии элементарности может показаться более молодым, хотя в завуалированной, неявной форме он часто ставился мыслителями минувших эпох. Встанем на точку зрения сакатовских *А* и *Б* и перейдем непосредственно к самим частицам.

Итак, вновь наши старые знакомые — элементарные частицы... Прежде всего бросается в глаза, что одни из них стабильны, а другие претерпевают те или иные превращения. Сразу же откажемся от возникающей в этой связи мысли о том, что стабильные элементарные частицы фотон, электрон, протон, нейтрино могут рассматриваться нами как истинно элементарные на том лишь основании, что они не распадаются спонтанно.

Здесь мы возвращаемся к высказанной дважды мысли, что спонтанно распадающаяся частица, например, нейтрон, не состоит из продуктов своего распада. Точно так же, если одна элементарная частица при известных условиях порождает или поглощает другую, то на этом основании мы не можем назвать первую частицу «в действительности» сложной, а другую «действительно» элементарной. Поэтому здесь нам остается лишь повторить

слова И. Е. Тамма, что, хотя и существует ряд различных схем, пытающихся отобрать небольшое число истинно элементарных частиц и построить из них все остальные, в этом вопросе нет еще никакой однозначности.

Все эти предпосылки не оставляют нам ничего иного, как называть элементарной частицей объект, не состоящий из других частиц. А это значит сказать, что элементарная частица — это ... элементарная частица.

Возможно ли дать иное, более удовлетворительное определение? На первый взгляд кажется, что существует некоторый ряд делений материи, в котором каждая ступень может считаться и сложной, и элементарной, в зависимости от конкретных условий. Такая иерархическая система часто находила воплощение в естествознании. Ньютонова концепция тоже содержала идею об иерархии систем частиц последовательно увеличивающейся степени сложности с «наименьшими частями естественных тел», лежащими в основании иерархии. Этой же концепции придерживаются и современные ученые, когда говорят об уровнях строения материи: уровень элементарных частиц, уровень атомных ядер и атомов, молекулярный уровень, клеточный уровень и т. д. Такое деление может быть продолжено в сторону макромира и мегамира и, не исключено, микромира. Попробуем развить эту мысль. В наше время не возникает сомнений, что «неделимый» атом и атомное ядро элементарны лишь относительно, по сравнению с более сложными степенями дробления материи. Может быть, и в определении элементарной частицы тоже заложен такой же элемент относительности?

Известные современной науке взаимодействия элементарных частиц ведут не к их раздроблению, а к образованию других элементарных частиц. Конечно, новые, более мощные средства, которые позволят сблизить частицы до очень небольших расстояний, могут привести к тому, что будет перейдена известная нам сейчас исходная ступень элементарности и мы получим уже субэлементарные частицы. Более того, мы можем предположить, что глубина деления материи не имеет конца, что она бесконечна и «с элементарной», и со «сложной» стороны. Такое допущение не противоречит данным естествознания. Но как ни заманчивы подобные прогнозы, они покамест не более чем игра ума, малооригинальные по-

пытки предвидеть результаты еще никем не поставленных экспериментов.

Нет ли другого пути решения проблемы элементарности? М. Э. Омеляновский видит ключ к решению этой проблемы в относительности понятий элементарного и сложного.

Прежде всего попробуем разобраться, не путаем ли мы такие понятия, как «сложный» и «составной». Не надо ссылаться на то, что они синонимы, лучше помнить, что в микромире нам приходится расставаться с повседневностью и обыденностью. «Сложный» в значении «составной» взято из представлений, которые рождены вековыми наблюдениями за макроскопическими явлениями. Степь рассматривалась как множество растений, море — как мириады водяных капель и т. д. В определенных условиях такое понимание «сложного», безусловно, правильно. Такое понимание было применено и к вопросам, связанным со строением вещества. Именно оно породило понятие «структуры» как расположения отдельных частей. Но применимо ли оно к проблемам, выдвигаемым теорией элементарных частиц? Можем ли мы подходить к ним со старыми привычными мерками?

Нет, не можем.

Оказывается, мы вообще не можем пользоваться здесь буквальным смыслом таких привычных понятий, как сложность и элементарность. Точно так же утрачивают свой смысл и другие понятия, такие, например, как «состоять» (в значении сочетаться из элементарного, простого).

Уже в ядерной физике понятия элементарности и сложности частично утрачивают свой первоначальный абстрактный характер. Когда мы говорим, что атом водорода состоит из протона и электрона, то здесь смысл понятия «состоит» совсем не такой, как в утверждении, что дробь в охотничьем патроне состоит из дробинки. Отдельная дробинка и дробинка в патроне принципиально ничем друг от друга не отличаются, тогда как свободные протон и электрон отличаются от протона и электрона в атоме водорода. Масса атома водорода меньше суммы масс протона и электрона. Точно так же атомное ядро отнюдь не «складывается» из протонов и нейтронов. Достаточно сказать, что свободный нейтрон спонтанно распадается, а в ядре он оказывается стабильным.

Не можем мы за критерий элементарности принять и такое понятие, как дефект массы. И вот почему. В случае, когда дефект массы при образовании системы меньше масс, слагающих ее частиц, мы можем как будто утверждать, что система «состоит» из этих частиц. Ведь любой школьный учитель десять раз на день твердит, что ядро состоит из протонов и нейтронов. И тем не менее это неправильно. Мы не можем даже условно утверждать, что пион, например, состоит из нуклона и антинуклонов, так как почти вся масса двух нуклонов сводится на нет вследствие дефекта массы и остается лишь ее малая часть в виде массы пиона.

С другой стороны, у нас как будто бы есть основания утверждать, что нуклонное поле более элементарно, чем мезонное. Недаром же мезонное поле рождается из нуклонного. Кроме того, бозоны представляют собой сложные комбинации фермионов. И все же мы не можем утверждать, что бозоны состоят из фермионов, на том лишь основании, что фермионы превращаются в бозоны.

В применении к элементарным частицам понятия элементарности и сложности приобретают совершенно иное значение, чем это имело место в классической атомистике. Основная роль здесь достается понятию «превращение одного в другое». Но классическая атомистика рассматривала превращение как соединение и разъединение некоторых постоянных элементов, что совершенно неприменимо к квантовому миру.

Отсюда и совершенно новый взгляд на принцип единства материи. Сделанное в свое время открытие делимости атома было колоссальным шагом к заветной цели — познанию единства материи. «Вместо десятков элементов удастся, следовательно,—писал об этом В. И. Ленин, — свести физический мир к двум или трем... Естественное ведет, следовательно, к «единству материи»...»

Взаимопревращаемость элементарных частиц предстала перед исследователями как новое качество, возникшее на пути к познанию единства мира. Элементарные частицы — это уже не неизменные атомы в духе Демокрита и атомистов прошлого. Современная физика как бы перебросила мост от принципа развития к принципу единства материи. Взаимопревращаемость элементарных частиц — это убедительное свидетельство единства материи в ее фундаменте.

Пора теперь вернуться к вопросу, элементарны или неэлементарны элементарные частицы? Да или нет?

Очевидно, после экскурсов в философию и историю естествознания неизбежно возникнет сомнение в правомерности такого прямого вопроса.

Когда мы говорим об элементарных частицах, то такие термины, как элементарность или сложность, приобретают иной смысл, чем на страницах классической атомистики. Эти термины теряют в микромире свой неизменный характер и становятся «текучими», взаимосвязанными и приобретающими поэтому вполне конкретный смысл.

Протон мы называем элементарной частицей. Но мы видели, как он сложно устроен: у него есть ядро и оболочка, он может превращаться в другие частицы. Элементарен или сложен протон? А он и не сложен, и не элементарен. Он одновременно обладает и свойствами элементарного, и свойствами сложного.

То же можно сказать и о других частицах. Элементарность и сложность присущи тому же протону в неразрывной связи с условиями, в которых протекает его превращение. Это вполне конкретные условия, которые объективно фиксируются приборами. В экспериментальных условиях для энергии меньше 100 Мэв он ведет себя подобно элементарной частице, а при соударениях с частицами значительно больших энергий он «распадается» на гипероны и каоны, проявляя тем самым свойства сложной частицы. Так понятия «элементарности» и «сложности» из абсолютных становятся относительными.

Как будто бы все просто: в макромире «элементарность» и «сложность» — понятия абсолютные, в микромире — относительные. Но если бы это было так, можно было бы просто постулировать это как особое свойство микромира. Однако мы так не поступаем. И вот почему.

Элементарные частицы сами по себе не только не элементарны, но и не сложны! И в этом весь секрет. Они проявляют себя в одном из этих качеств, если рассматривать предельные случаи только в органической связи с условиями, в которых протекают превращения.

Не боясь повторений, скажем, что частицы сами по себе просто лишены приписываемых им свойств. Но как только мы рассматриваем взаимодействия частиц, эти свойства вдруг появляются. Элементарным частицам

присуще совсем особое, качественно ни с чем не сравнимое проявление двуединой природы элементарности — сложности. Именно элементарности — сложности! Единство противоположностей, замеченное еще за сотни лет до Гегеля древними мудрецами.

Вопрос об элементарности и сложности объектов в некоторой степени подобен вопросу об одинаковости места двух разновременных событий и одновременности событий, протекающих в разных местах. Классическая механика предполагает, что одноместность относительна, а одновременность абсолютна безотносительно к системе отсчета. Релятивистская механика отказалась от представления об абсолютном характере одновременности. Относительность одновременности, так же как относительность пространственных и временных интервалов в теории Эйнштейна, как мы знаем, вытекает из признания внутреннего единства пространства и времени. Если древние мудрецы вносили в бесконечные списки «тайн двойственности» такие понятия, как рождение и смерть, сложение и вычитание и т. п., то современная наука касается уже фундаментальных «двойственностей» мироздания: пространство — время, элементарность — сложность.

Как неприменимы к элементарным частицам понятия элементарности и сложности в их классическом смысле, так неприменимо к ним классическое понимание структуры. Структура протона, например, включает ряд оболочек других виртуальных частиц: нуклонов и антинуклонов, гиперонов и каонов и, конечно, пионов. Каждая элементарная частица окружена системой оболочек виртуальных частиц. Но так как в «состав» данной элементарной частицы другие представители микромира входят не реально, а виртуально, то и понятие «структуры» следует рассматривать в ином, не классическом смысле.

А. Л. Зельманов различает три понятия Вселенной: «Вселенная в целом», «Вселенная как целое» и «вся Вселенная». Первое из этих понятий обозначает целое безотносительно к его части; второе — целое в его отношении к целому; третье понятие Вселенной обозначает все части безотносительно к целому. «Смешение этих понятий, — пишет А. Л. Зельманов, — может привести к очень серьезным недоразумениям». Такое понимание

проблемы о соотношении целого и частей можно распространить на любой предмет, рассматриваемый как целое. Понятие элементарной частицы, например, подобно второму понятию с точки зрения связи целого и частей, выражаемой отношениями сложного и элементарного, прерывного и непрерывного. Целое не является простой арифметической суммой частей. Оно представляет собой диалектическое единство со своими частями.

Идеи натурфилософов с применением тензоров и матриц

Весной 1942 года Эйнштейн писал своему другу врачу Гансу Мюзаму:

«Я стал одиноким старым бобылем, известным главным образом тем, что обхожусь без носков. Но работаю я еще фанатичнее, чем раньше, и лелею надежду разрешить уже старую для меня проблему единого физического поля. Это напоминает воздушный корабль, на котором витаешь в небесах, но неясно представляешь себе, как опуститься на землю... Быть может, удастся дожить до лучшего времени и на мгновение увидеть нечто вроде обетованной земли...»

Эйнштейн продолжал работать над единой теорией поля до самых последних дней. В 1959 году Гейзенберг написал статью «Замечания к эйнштейновскому наброску единой теории поля», в которой проанализировал причины неудачи эйнштейновской попытки.

Почему стройная и блестящая теория оказалась неудачной? Прежде всего потому, что она была преждевременной. Эйнштейн создавал ее в те годы, когда почти чуть ли не каждый номер физического журнала приносил сведения об открытии новой элементарной частицы, а каждая частица ассоциировалась с некоторым полем. Трудно, да и вовсе невозможно было в стремительной лавине новых фактов найти твердую основу для единой теории.

«Эта великолепная в своей основе попытка, — пишет Гейзенберг, — сначала как будто потерпела крах. В то самое время, когда Эйнштейн занимался проблемой единой теории поля, непрерывно открывались новые элементарные частицы, а с ними — сопоставленные им новые поля. Вследствие этого для проведения эйнштейнов-

ской программы все еще не существовало твердой эмпирической основы, и попытка Эйнштейна не привела к какому-либо убедительным результатам».

Но так ли это?

Открытия последних десятилетий внесли в картину мира частицы, легко превращающиеся из одних в другие, и соответственно взаимно превращающиеся поля. Единая теория поля теперь имеет основу — квантовые представления. Взаимный переход одних полей в другие — это взаимный переход полевых квантов, трансмутации элементарных частиц. Мысль о субквантовом мире ультрарелятивистских эффектов и единая теория поля сливаются в некоторую целостную концепцию взаимных превращений элементарных частиц как основных процессов мироздания.

Пока такой концепции нет. Можно говорить лишь о принципиальной возможности перехода от картин мира, в котором основным понятием служит движение тождественной себе частицы в каком-то поле, к картине мира, в которой основным моментом будет превращение частицы одного типа в частицу другого типа.

Единая теория поля явится не только воплощением мечты гениального физика, не только развитием его идей. Она будет завершением теории относительности, с которой начался двадцатый век.

Попытки сведения многообразия частиц к единой частице предпринимались довольно часто. Одной из наиболее известных таких попыток явилась теория слияния Луи де Бройля.

В основе этой теории лежит спин. Кванты единого поля — элементарны — совершенно тождественны между собой и обладают спином. Это логически следует из того, что спином, который никуда не может исчезнуть, обладает каждая элементарная частица. Каким же спином должен обладать элементарон? Если равным нулю, то из этого ничего не получится, так как сколько ни комбинируй покоящиеся частицы, вращающуюся все равно не получить. Целый спин, очевидно, тоже неприемлем, так как из комбинации целых чисел нельзя получить половины. Поэтому единственно возможным значением может быть только $1/2$. Поэтому элементарон, как нейтрино, электрон и позитрон, подчиняется статистике Ферми и описывается присущей фермионам особой математиче-

ской величиной — спином. Поэтому поле, образованное элементарными, называется спинорным.

Так как из фермионов можно «составить» любые другие частицы, то за действительно элементарные де Бройль принимает именно их. Волновые функции других частиц нужно представить в виде произведений волновых функций нейтрино, электрона и позитрона. Фотон с этой точки зрения состоит из двух нейтрино.

В ряде моделей и другие частицы рассматриваются как результат слияния: пионы состоят из нуклонов и антинуклонов, вводится представление о нуклонах и тяжелых мезонах, о нуклонах и гиперонах как об исходных элементарных частицах.

Мысль М. А. Маркова о гиперонах как о «возбужденных состояниях» нуклонов связана с концепцией «внутреннего статистического пространства».

Как это ни парадоксально, М. А. Марков даже не имеющий массы покоя фотон считает комбинацией тяжелых частиц: протона и антипротона, нейтрона и антинейтрона. Электрические заряды первой пары нейтральны, поэтому и вся система тоже обладает нулевым зарядом, а титанические ядерные силы приводят к такому сильному взаимопротяжению, что дефект масс становится равным сумме масс отдельно взятых частиц.

Советский ученый считает, что не только фотон, но и любая частица может быть представлена комбинацией частиц и античастиц. Ядерные силы заставили вещество и антивещество слиться. Антимир оказался внутри вещества!

Ну, а как быть со спином? Фотон обладает единичным спином. Поэтому чтобы полуцелые спиновые значения нуклонов могли образовать единицу, количество их должно быть четным. Почему тогда четыре, а не две или шесть частиц составляют фотон?

М. А. Марков предполагает, что такая система наиболее устойчива.

Нулевой спин нейтрального пиона, напротив, составлен из спинов двух частиц: нуклона и антинуклона, которые, как известно, антипараллельны. Эта система неустойчива. Действительно, этот пион быстро распадается. Полуцелые значения спинов у фермионов — тоже результат комбинации различного числа нуклонов. Но на этот раз такое число должно быть нечетным. Ну, а как

же быть с гиперонами, масса, которых превышает массу нуклонов? Они рисуются М. А. Маркову в виде комбинации нуклонов и пионов, связанных особыми силами, характеризующими возбужденное состояние нуклонов.

Как мы уже видели, элементарны должны быть фермионами. Поэтому в основу единых теорий элементарных частиц кладется знаменитое дираковское уравнение для частицы с полуцелым спином.

Из этого уравнения путем различных выкладок пытались вывести спектр масс и другие основные свойства элементарных частиц и прийти к единой теории, как к теории возбужденных состояний универсального спинорного поля. Но возбужденные состояния могут явиться результатом взаимодействия поля с другими полями.

Если же поле единственное, то возбужденные состояния его будут проявлением «самодействия» поля, т. е. его взаимодействия с самим собой.

Способность взаимодействовать только с самим собой — это важнейшее свойство единого поля. Это свойство не выдуманно теоретиками нашего века. Еще древние натурфилософы приписывали его своей праматерии. И это было совершенно естественно, так как праматерия — это начало и единственная причина всех вещей и явлений мира.

«Самодействие» единого поля означает, что дифференциальное уравнение, описывающее универсальное спинорное поле, должно быть нелинейным, так как волновая функция должна входить в него не в первой степени, а в более высоких степенях.

В 1939 году Д. Д. Иваненко предложил нелинейное спинорное уравнение, в котором к уравнению Дирака добавлен простейший нелинейный член в виде куба волновой функции с коэффициентом, соответствующим интенсивности «самодействия» спинорного поля.

25 февраля 1958 года в Геттингенском университете с лекцией «Прогресс в теории элементарных частиц» выступил создатель основного уравнения квантовой механики Вернер Гейзенберг. Он сообщил, что ему и его сотрудникам удалось построить «объединенную нелинейную спинорную теорию поля». В чем сущность этой самой интересной теории последних лет?

Скажем прямо, ответить на этот вопрос нелегко. Прежде всего разговор будет идти о математических за-

висимостях без привлечения их самих. Не приводя уравнение Дирака и не показывая, как Гейзенберг это уравнение обобщил, мы будем говорить именно о переходе от уравнения Дирака к уравнению Гейзенберга. Более того, говоря о математических операциях над уравнениями квантовой механики, мы вынуждены по мере возможности избегать таких терминов, как «отрицательная вероятность» или «второе гильбертово пространство».

Задача, если и выполняемая, то крайне сложная. Конечно, возникает вопрос: почему мы не можем прибегнуть к образным, наглядным примерам и хотя бы приблизительно с помощью аналогии показать, к чему собственно привело преобразование дираковской формулы и что нам дает новая теория?

Оказывается, что в данном случае и речи не может быть о какой-либо наглядности. Наши понятия и представления, сложившиеся особенности человеческого мышления не в состоянии образно представить и охватить существо рассматриваемых процессов. И кто сказал, что законы природы должны вмещаться в узкие рамки наглядных схем? Более того, уже на примере атомных ядер и элементарных частиц мы могли убедиться, что ни о какой наглядности не может быть и речи.

Только математика является тем совершенным аппаратом, с помощью которого человеческое познание охватывает самые сложные физические процессы. Именно поэтому современное естествознание так стремительно математизируется.

Поэтому и при создании единой теории поля, говоря словами Гейзенберга, «вопрос приходится ставить природе на математическом языке, ибо только на нем можно получить ответ. Но сам вопрос направлен на процесс, происходящий в практическом материальном мире».

Основная физическая идея Гейзенберга имеет много общего со взглядами Пифагора и Аристотеля и заключается в признании вечной формы всех видов материи, единого вещества — праматерии.

Единое физическое поле — это и есть праматерия, обладающая одновременно и свойством прерывности, и свойством непрерывности.

Будучи непрерывным, единое поле охватывает всю Вселенную, все формы существования материи: галактики и частицы, поля и звезды. Дискретность единого поля

характеризует его квантовые свойства: праматерия складывается из неделимых элементов.

В своей работе Гейзенберг исходил из двух затруднений полевой теории элементарных частиц. Это прежде всего появление расходящихся математических выражений при объединении теории относительности с квантовой теорией. Второе затруднение заключается в эмпирическом характере значений масс, зарядов и других характеристик элементарных частиц. Сюда же следует отнести и отсутствие объективного критерия элементарности.

Отсюда вытекают требования, которым должна удовлетворять единая теория поля: 1) операторы поля в уравнении должны относиться не к определенной частице, а к материи в целом; 2) частицы должны соответствовать собственным решениям уравнения поля; 3) уравнения должны учитывать взаимодействия, т. е. быть нелинейными, масса частиц должна вытекать как следствие их взаимодействия, и понятие «голой частицы», частицы самой по себе, не должно иметь смысла; 4) рождение и распад частиц вычисляются с помощью отбора, вытекающего из симметрии уравнений; 5) при удовлетворении правилам отбора и требованиям инвариантности эвристическим принципом служит простота уравнений.

На доступном языке из этих требований следует прежде всего, что единое поле должно быть способно возбуждаться. Это необходимо, чтобы из праматерии могла возникать любая элементарная частица. Различными состояниями этого возбуждения и будут различные частицы. То есть каждой частице будет соответствовать определенная степень возбуждения. Теперь мы подвергнем единое поле квантованию и установим самую маленькую «порцию» праматерии. Это и будет «кирпичик», из которого построено все, — элементон.

Прерывны ли пространство и время?

Праматерия может взаимодействовать только сама с собой. Ведь кроме праматерии ничего другого и нет, а все, что нас окружает: газы и жидкости, кристаллы и плазма, звезды, атомы и частицы — только проявление основного поля. Это поле должно быть способно к само-

возбуждению. Потому что если бы оно оставалось в состоянии покоя, у нас был бы только один «кирпичик» — элементон, обладающий спином $1/2$. И больше ничего.

Пять условий, которым должна была удовлетворять новая теория, в сумме давали задачу исключительной сложности. Поэтому целесообразно было предпринять предварительное исследование упрощенной модели. Таковой моделью и явилось нелинейное уравнение для спинорной волновой функции, в известной мере отвечающее сформулированным требованиям.

Гейзенберг превратил массу из эмпирически данной величины в величину, которую предстоит найти, решая уравнения поля. Массы частиц получаются из уравнения, в котором наряду с постоянной Планка и со скоростью света фигурирует еще одна мировая константа — минимальная длина $l_0 = 10^{-13}$ см — мера «самодействия» мирового спинора. Квантование уравнения дает ряд возбужденных состояний этого спинора, которым и соответствует спектр масс различных частиц.

Полученный Гейзенбергом спектр масс некоторых частиц согласуется с эмпирическими значениями. Ему удалось, например, получить правильное соотношение между массами нуклона и пиона. Если бы взаимодействия не было, не было бы не только масс частиц, но и самих частиц. Поэтому исходным элементом картины мира является не частица, характеризующаяся неизменным значением собственной массы, а возбуждение поля, названное его «самодействием».

Новая мировая константа Гейзенберга — элементарная длина — является постоянным коэффициентом, на который умножаются все собственные значения массы. Можно представить себе, что частицы с различной массой занимают один и тот же пространственный объем, обладают одной и той же для разных частиц протяженностью.

Следует отметить, что помимо работ Гейзенберга есть много других попыток построить новую теорию на основе коренного пересмотра пространственных и временных представлений и применения их к ультрамалым масштабам.

Еще Л. И. Мендельштам подчеркивал, что в этих масштабах понятия расстояния, измеряемого линейкой, и времени, измеряемого часами, не могут быть применимы.

Сама же идея неделимых частей пространства и времени берет начало в далеком прошлом. Она неоднократно высказывалась и античными, и средневековыми философами.

В конце прошлого века Стонней высказал мысль о минимальных пространственных расстояниях (10^{-35} см) и минимальных длительностях ($3 \cdot 10^{-45}$ сек). Через пятьдесят лет В. А. Амбарцумян и Д. Д. Иваненко предположили, что в квантовом мире координаты могут принимать лишь целочисленные значения, будучи выражены в элементарной единице — минимальной длине.

Сразу же после этого Гейзенберг опубликовал статью, в которой говорилось о минимальных пространствах и расстояниях. Гейзенберг считал, что элементарная длина будет основой ограничения квантовой механики, подобно тому как постоянная Планка ограничивает классическую механику. Эта мысль приобрела широкое признание среди теоретиков.

Потом, как мы увидим, Снайдер, а затем и Коиш пришли к представлению, что в ультрамалых масштабах пространство окажется не непрерывным, как мы обычно его себе представляем, а дискретным, т. е. состоящим из отдельных четко ограниченных точек — элементарных ячеек. Внутри такой ячейки пространство может быть бесконечно делимо, но делимости этой не соответствует какой-либо реальный физический процесс. Мы можем вообразить расстояние меньше 10^{-13} см и время меньше 10^{-24} сек (элементарная длительность), но этим масштабам не будут соответствовать физически отличающиеся друг от друга области или интервалы времени.

В этом случае физические константы с размерностью длины порядка 10^{-17} см, что характерно для слабого взаимодействия, и 10^{-38} см — величина, представляющая гравитационное взаимодействие, должны рассматриваться как условные величины, а не характеристики реальных областей, в которых протекают названные взаимодействия.

Высказываются предположения, что дискретными являются не пространство, как нейтральный фон физических процессов, и не время как таковое, — они непрерывны, а единый пространственно-временной мир. Он складывается из ячеек, в которых пространство и время теряют релятивистскую связь и становятся независимыми.

Познакомимся несколько подробнее с главными работами по квантованию пространства и времени.

Основопологающей в данной проблеме, пожалуй, можно считать статью Снайдера, опубликованную в 1947 г. Исходная идея Снайдера базируется на том, что пространственные координаты могут принимать лишь дискретные значения: $x, y, z = \pm l_0; \pm 2l_0$ и т. д., где l_0 — некоторая элементарная длина, меньше которой ничего не может быть.

Из квантовой механики мы знаем, что существуют физические величины, которые не могут быть одновременно измерены совершенно точно. Пространственные координаты к таким величинам никогда и никто не относил. Но мысленно можно допустить, что x, y, z соотносятся между собой так же, как координаты и импульсы в уравнении Гейзенберга. Только \hbar в этом случае нам придется заменить элементарной длиной l_0 .

Если допустить, что пространство дробимо до бесконечности, т. е. $l_0 = 0$, то мы получим обычную теорию, привычную метрику мира.

Но Снайдер принимает $l_0 = \text{const}$. Отсюда следуют далеко идущие выводы. Так как, согласно теории относительности, время и пространственные координаты входят во все формулы симметрично, то, несмотря на дискретность координат, время получает непрерывный спектр значений. Говоря иначе, время в данном случае не квантуется.

Физический смысл теории заключается в том, что невозможно измерить одновременно и точно все три пространственные координаты частицы. Измерение одной из них, допустим z , «мешает» точному измерению x и y . Отсюда и вытекает невозможность локализовать частицу в пространстве.

Почти два десятилетия идея Снайдера оставалась подобной одинокому острову в безбрежном море. Лишь сравнительно недавно она получила дальнейшее развитие в трудах советских исследователей Ю. А. Гельфанда и В. Г. Кадышевского.

Еще более радикальной, чем гипотеза дискретного пространства, явилась разработанная в 1959 г. Койшем теория конечного пространства — времени. Вот как охарактеризовал эту теорию известный советский физик профессор И. С. Шапиро:

«Согласно этой, на первый взгляд совсем уже «ди-кой», концепции, пространство и время в микромире описываются даже не дискретным, а **конечным** многообразием (это означает, в частности, что пространство состоит из большого, но **конечного** числа точек)».

Мы еще вернемся к проблеме бесконечности. Поэтому ограничимся здесь лишь общими выводами из теории Коиша. Бесконечности в этой теории просто отсутствуют, а сам факт конечности числа точек порождает целую лавину новых и невиданных свойств симметрии пространства — времени. Очень важно при этом, что вытекающие из этой теории свойства симметрии элементарных частиц хорошо совпадают с экспериментальными значениями. Это уже несомненный успех, свидетельствующий о том, что удалось нащупать какие-то коренные свойства первооснов мира.

Вообще коренные свойства пространства обуславливают некоторые физические закономерности даже в рамках привычных нам локальных теорий. Классические законы сохранения энергии или количества движения непосредственно вытекают из однородности пространства и времени. Более конкретно эти законы обусловлены тем, что внутренние свойства физических объектов при перемещении их из одной точки в другую не изменяются, точно так же и физические законы остаются постоянными во времени.

Но в физике элементарных частиц существуют свойства симметрии и законы сохранения, которые не могут быть объяснены свойствами симметрии привычного нам пространственно-временного континуума. Мы не можем связать с пространством и временем ни кратность всех электрических зарядов электрона, ни существование и сохранение барионного заряда, на котором, как известно, базируется устойчивость всего материального мира. То же можно сказать и о законе сохранения лептонного заряда и о многих других особенностях, управляющих странным миром элементарных частиц.

Коиш и И. С. Шапиро показали, что все свойства симметрии могут быть легко объяснены теоретически как следствия конечности пространства. Более того, вытекающие из такой теоретической предпосылки уравнения приобретают именно такой вид, какой требует от них теория относительности! Факт чрезвычайной важности.

Он означает, что в принципе эту теорию можно будет распространить не только на микромир, но и на всю Вселенную.

И еще одна интересная, точнее, парадоксальная особенность теории Койша — Шапиро. Она заключается в том, что в микромире понятие длины, т. е. расстояния между двумя точками, теряет всякий смысл. Это не только удивительно, но и очень привлекательно, поскольку автоматически снимает многие теоретические трудности. И привыкнуть к этой гипотетической особенности микромира тоже можно. Привыкли же мы к тому, что элементарные частицы движутся без траектории! На войне как на войне! В микромире как в микромире!

Риман в свое время писал: «Вопрос о том, справедливы ли допущения геометрии в бесконечно малом, тесно связан с вопросом о внутренней причине возникновения метрических отношений в пространстве. Этот вопрос, конечно, также относится к области учения о пространстве, и при рассмотрении его следует принять во внимание сделанное выше замечание о том, что в случае дискретного многообразия принцип метрических отношений содержится уже в самом понятии этого многообразия, тогда как в случае непрерывного многообразия его следует искать где-то в другом месте. Отсюда следует, что или то реальное, что создает идею пространства, образует дискретное многообразие, или же нужно пытаться объяснить возникновение метрических отношений чем-то внешним — силами связи, действующими на это реальное».

Идея, выраженная в последних словах этой классически ясной формулировки, получила свое воплощение в общей теории относительности.

Пока же исследования, связанные с радикальной концепцией конечного пространства, только начинают свой трудный путь. Нелегко предугадать, будет ли этот путь плодотворным. Но дух теоретической физики нашего века позволяет с уверенностью сказать: непривычное не есть невозможное.

Более того, только радикальные идеи способны перебрасывать мосты над пропастью незнания. Традиционные представления только укрепляют уже возведенные сооружения. Так воздадим же должное безумству храбрых!

Но вернемся к элементарной длине и сделаем небольшое отступление от интересующей нас проблемы. Во-первых, мы больше не будем говорить о квантовании пространства и времени, и во-вторых, отступление, которое мы отважимся сделать, интересно не только само по себе, но и тем, что содержит весьма неожиданную информацию о возможном развитии теоретической физики.

Знаменательно, что в первые годы нашего века были найдены две мировые константы, ставшие основой всех измерений в микромире. Речь идет о все тех же скорости света c и константе Планка h . Ни c , ни h не являются непосредственно массой, длиной или временем. Каждая из них представляет собой комбинацию этих трех основных единиц. Размерность c — $см/сек$, h — $г.см.см/сек$. Можно сказать ради аналогии, конечно, что у нас есть три неизвестных и всего два уравнения. Необходимо еще одно, третье уравнение, третья мировая константа. Если бы удалось найти третью натуральную единицу измерения, мы бы располагали тогда основой для образования системы единиц, столь же полной, как грамм, сантиметр и секунда, но гораздо более удовлетворительной. Точнее, гораздо более естественной и фундаментальной. Необходимость такой системы станет более понятна из следующего рассуждения: раз скорость света выбрана в качестве единицы скорости, теряет смысл вопрос о быстрой распространения света. Можно сказать лишь, что свет распространяется лишь так, как распространяется. Поскольку всякое измерение не что иное, как сравнение, необходимо иметь, по крайней мере, один стандарт, который нельзя сопоставить ни с чем, кроме как с самим собой. Отсюда вытекает идея «безразмерной физики». Установив стандарт скорости, можно сказать, что ракета летит со скоростью 10^{-6} , т. е. с одной миллионной скорости света. Величина 10^{-6} безразмерна и не требует упоминания каких-либо единиц, это отношение скорости ракеты к скорости света. Чтобы безразмерная физика стала возможной, нужна еще одна независимая натуральная единица. Если ее когда-нибудь найдут, она, скорее всего, окажется единицей длины.

Многие теоретики считают, что такая элементарная единица длины будет отражать новые и радикальные представления о природе пространства — времени в масштабах микромира.

Частица — это искривленное пространство?

Цвикки установил, что на расстоянии в 5 миллионов световых лет ($5 \cdot 10^{24}$ см) силы тяготения уменьшаются до ничтожной части величины, предусматриваемой законом Ньютона. Разделенные такими или еще большими расстояниями миры уже не влияют друг на друга и одиноко плывут в бесконечных безднах пространства.

В элементарной ячейке рушится великое двуединство пространства и времени. Вот они, границы нашего познания на сегодняшний день! По обе стороны от этих пограничных столбов лежит Незнаемое — объект поиска будущих поколений.

Чем дальше и глубже уходит этот поиск от частных вопросов к общей картине мироздания, тем ближе он подходит к самым острым проблемам, интересующим все человечество.

Интересно, что наиболее парадоксальные и радикально порывающие со старым общие концепции мира оказались и наиболее коротким и верным путем к познанию тайн Вселенной.

«Теоретической основой самых глубоких сдвигов в жизни людей, — пишет Б. Г. Кузнецов, автор замечательной книги об Эйнштейне, — стали концепции, ушедшие очень далеко от непосредственного наблюдения, относящиеся к скоростям, близким к скорости света, охватившие области в миллионы световых лет и области порядка триллионных долей сантиметра, нашедшие здесь самые парадоксальные с точки зрения классической науки соотношения».

Сейчас разрыв с очевидностью должен быть еще более радикальным, чем в первой половине века.

Вот почему, когда Паули в 1958 году, приехав в США, докладывал о теории Гейзенберга, то присутствовавший на докладе Бор воскликнул: «Нет никакого сомнения, что перед нами безумная теория. Вопрос состоит в том, достаточно ли она безумна, чтобы быть правильной».

И дело здесь не столько в том, что уравнение Гейзенберга, его «формула, означающая мир», недостаточно совершенна и сама теория может рассматриваться лишь как программа будущих исследований. Главное — это «безумие». Радикальные, не традиционные, парадок-

сальные и «безумные» — вот какими должны быть идеи будущего. Мы стоим на пороге еще более решительного отказа от классических основ, чем тот, который в первой четверти столетия положил начало современному представлению о веществе, поле, пространстве и времени.

В этой связи, безусловно, заслуживает внимания попытка подхода к элементарным частицам как к проявлениям свойств пространства.

Мы были свидетелями многих попыток теоретического обоснования существующего «спектра масс» элементарных частиц. Но мы все еще не знаем, почему тяжелые частицы в 3000 раз превосходят по массе электрон или почему существует мюон. Пока ответов на эти и другие аналогичные вопросы нет. Поэтому физики так упорно стараются отыскать хотя бы некоторые общие свойства и характеристики, на основе которых можно было бы хоть как-то объяснить различия между массами частиц.

Физики привыкли к великим дуализмам современности. Частица — волна, пространство — время — все это уже никого не удивляет. Но, может быть, существует и дуализм более высокого порядка? Почему бы нам не написать так: масса — энергия — пространство — время? Не есть ли это обобщенная формулировка основных компонентов мира?

Как-то известный физик Уилер высказал мысль, что элементарные частицы представляют собой некие искривления пространства в области, характеризующей «размеры» частиц. Идея эта глубока, оригинальна и в то же время где-то тривиальна. Она как бы вытекает из концепции квантования пространства и времени. В своих основах мир может оказаться удивительно однообразным. Ведь если исчезнут привычные понятия пространства, времени, вещества и поля, мы можем отважиться на еретическую мысль о некоем внутреннем единстве таких понятий. Отсюда вполне правомерно считать частицы искривлениями пространства и перенести на них присущую пространственным объектам метрику. Многие вопросы отпадут тогда сами собой. Почему, например, одни частицы не могут переходить в другие? Мы можем «забыть» обо всех запретах и законах сохранения, предположив, что каждой частице отвечает поверхность индивидуальной топологической связности. Шар, например, путем непрерывной деформации может быть превращен

в эллипсоид — это фигуры одной топологической связности. Но зато тор в шар нам превратить не удастся. Помешает разная топологическая связность. В общем идея ясна. Но она дает лишь качественный критерий. Остается поэтому найти и количественный путь объяснения спектра масс на основе топологической связности.

Такую попытку предпринял советский физик И. Г. Ивантер. Для каждой топологической структуры, обладающей определенной симметрией, можно ввести определенную количественную характеристику — коэффициент упаковки. Если каждой элементарной частице соответствует некоторая топологическая структура, то за частицей закрепляется и определенный коэффициент упаковки.

С электроном, например, связывается шаровая симметрия, с пионом — тороидальная, с каонами и гиперонами — высшие типы аксиально-винтовой симметрии. Эти топологические структуры как бы описывают те искривления пространственной метрики, которые соответствуют конкретным частицам.

Теперь обратим внимание на одну тонкость. Как мы знаем из общей теории относительности, искривление пространственной метрики связано с гравитационным полем. Поэтому И. Г. Ивантер и ввел в свою формулу гравитационную постоянную.

Тут-то и возникло неожиданное и далеко идущее следствие. Поскольку структуры обусловлены гравитационным полем, то при наложении этого поля, близкого к критическим значениям, можно ожидать «деформации», даже своего рода «разрушения» элементарных частиц. Может нарушаться, допустим, закон сохранения числа барионов. (Именно этот закон не позволяет массе полностью превратиться в энергию при термоядерном синтезе.) Далее мы познакомимся с процессами, протекающими при взрывах звезд, с гипотезами рождения Вселенной, с гравитационным коллапсом, который сжимает далекие сверхзвезды. На Земле мы подобных процессов не знаем. Но гигантское выделение энергии в сверхплотных системах может протекать с нарушением известных нам физических законов. Это новое качество, которое трудно предугадать.

Во всяком случае, первые шаги новой оригинальной теории, объясняющей спектр масс частиц, привели нас к

парадоксальным следствиям. Но такова уже природа нашего познания, что любое открытие в микромире находит неизбежный отклик в мире галактик и звезд.

Известные американские физики Гольдхабер и Коуен провели измерения времени жизни протона. Точность экспериментов позволяла регистрировать распад одной частицы из 10^{30} . Стабильность протона оказалась столь высокой, что время его полураспада не удалось даже точно оценить. Во всяком случае оно превышает 10^{22} лет. Это на десять порядков больше времени существования Вселенной.

Таким образом, протон живет в 10^{43} раз дольше нестабильных частиц, обладающих сравнимой массой покоя, и в 10^{26} раз дольше нейтрона. Он побил все рекорды долголетия. Измеренный несколько лет назад период полураспада электрона составляет «всего» 10^{17} лет. Впрочем, и это неизмеримо много. Практически вечно.

Если бы электрон и протон не были столь устойчивыми, мы вряд ли располагали бы приятной возможностью изучать элементарные частицы. Но природа позаботилась об их устойчивости. Столь же счастливому совпадению мы обязаны тем, что в результате соединения с протонами нестабильный нейтрон тоже обретает долголетие. Случайность это или закономерность, в данном случае об этом просто бессмысленно говорить, но основные кирпичи мира — стабильны.

Тем более, что «случайность», благодаря которой оказалось возможным построение материального мира, базируется на строгих правилах запрета, согласно которым распад протона и электрона не должен происходить. Другое дело, чем обусловлены сами запреты и почему вопреки им частицы все-таки обладают хотя и большим, но все же не бесконечным периодом полураспада? Но, перефразируя известную поговорку, можно сказать: человек способен задать столько вопросов, что даже природа не сможет на них ответить.

Однако мы слишком увлеклись философскими проблемами естествознания. Конечно, мы воздали должное теоретикам, разрабатывающим «безумные» идеи, которые должны вместить в себя весь видимый и невидимый мир. Но этим мы нарушили равновесие между теорией и экспериментом, которое должно свято соблюдаться. А ведь экспериментаторы, как можно было догадаться,

времени даром не теряли. Более того, они поставили теоретиков перед свершившимся фактом, который заставил пересмотреть многие теоретические положения.

История эта началась давно, но смысл тех революционных потрясений, которые она с собой принесла, стал доходить до теоретиков лишь в последние годы.

Нашествие резонансов

В 1952 году Ферми, изучая рассеяние пионов на протонах, обнаружил существование новых короткоживущих частиц. Суть его опыта заключалась в том, что протоны облучались потоком пионов переменных энергий. Пионы, проходившие на достаточно больших расстояниях от протонов, почти не отклонялись от своего первоначального движения, а те, которые сталкивались с протонами, испытывали рассеяние. Характер рассеяния и должен был как раз дать сведения о размерах частиц. Особых неожиданностей эксперимент как будто бы не сулил. Но в тот момент, когда энергия пионов достигла 200 Мэв, их рассеяние резко возросло. Однако дальнейшее увеличение энергии сразу же привело к спаду рассеяния. Выявлялся, таким образом, своеобразный резонансный пик, соответствующий энергии 200 Мэв. Он-то и дал название целому классу частиц.

Открытое Ферми явление требовалось объяснить. Резкое увеличение рассеяния, которое он наблюдал, могло бы иметь место, если бы размеры протона неожиданно увеличились, скажем, в 1000 раз. Понятно, что в этом случае больше пионов попало бы в цель и больше рассеялось. Но абсурдно было бы полагать, что протон вдруг ни с того, ни с сего может увеличиться. Так возникло предположение, что при столкновении пионов с протонами в определенных случаях рождаются короткоживущие частицы — резонансы, которые быстро распадаются на пионы. Эти-то вторичные пионы и образуют пик рассеяния, который обнаружил Ферми.

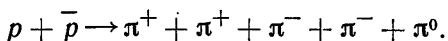
С 1960 года было открыто около ста сильно взаимодействующих частиц — резонансов. Прежде чем говорить об этом классе частиц, вспомним опыты по получению первых антинуклонов. Как уже говорилось, первой ступенью превращений нуклонно-антинуклонной пары будет ее распад на пионы. Но, строго говоря, это совсем не

обязательно. При аннигиляции нуклонов вместе с пионами могут образовываться и уже упоминавшиеся ранее короткоживущие частицы — резонансы: нейтральная омега-частица, распадающаяся на три пи-мезона, и ро-частица, распадающаяся на два пи-мезона. Ро-частица при этом может находиться во всех зарядовых состояниях: положительном, отрицательном и нейтральном.

Теоретики сравнительно давно высказывали мысль, что нуклоны должны содержать омега- и ро-частицы. Обнаружить же эти резонансы удалось только в 1961 году. Короткоживущие частицы нельзя зарегистрировать никакими приборами. Об их существовании мы можем судить лишь по распределению энергий и импульсов долгоживущих продуктов ядерных взаимодействий. Омега-мезон нашли, например, при исследовании импульса и энергии пионов, образующихся при аннигиляции антипротона с протоном. Ро-мезон удалось поймать при аналогичном анализе результатов столкновения отрицательного пиона с протоном.

Вообще при исследовании резонансов экспериментаторы даже перешагивали теоретиков. Им посчастливилось найти и не предсказанные никем частицы. В продуктах реакции дейтрона и положительного пиона удалось обнаружить, в частности, эта-нуль-мезон. Речь идет о нейтральной частице с массой, близкой к 1070 э. м., распадающейся на полную гамму пионов: отрицательный, положительный и нейтральный.

Несмотря на короткое время жизни (10^{-23} — 10^{-22} сек), принципиально исключающее прямую регистрацию резонансов, физики научились определять их массу, время жизни и другие важные характеристики (спин, четность и др.). Все резонансы участвуют в сильных взаимодействиях, и ни один из законов сохранения не препятствует их распаду. Возьмем такой пример. Допустим, что при аннигиляции протона и антипротона выделилось пять пионов:



Анализируя треки частиц в пузырьковой камере, физик приходит к заключению, что некоторые пионы на самом деле являются продуктами распада какой-то одной частицы. Значит, ранее записанная реакция отражает лишь конечную стадию процесса, который на самом деле протека-

ет в два каскада. Сначала в результате аннигиляции образуется ω^0 -мезон:

$$p + \bar{p} \rightarrow \omega^0 + \pi^+ + \pi^-,$$

который, в свою очередь, распадается на полный набор пионов:

$$\omega^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^- + \pi^0.$$

Пусть этот ω^0 -мезон не успел даже отойти на измеримое расстояние от точки своего рождения, конечные продукты однозначно доказали его существование.

Говоря «резонанс», «резонансная частица», «резонансная квазичастица», мы как бы стремимся подчеркнуть отличие этих поденок микромира от «полноправных» элементарных частиц. И это не случайно. Еще Ферми не было ясно, являются ли резонансы строго частицами или же просто ассоциациями уже известных обитателей микромира. Но в наши дни всякие сомнения отпали. Почти все резонансы — такие же частицы, как и те, о которых до сих пор шла речь. И те и другие в одинаковой степени неэлементарны. Резонансы, можно сказать, возглавляют иерархическую лестницу частиц. На нижней ступеньке лестницы ютятся долгоживущие и вечные частицы, благосостояние которых поддерживают законы сохранения. Там же находятся частицы, не подвластные сильным взаимодействиям и лишённые массы. Но триумф резонансов непрочен.

Ро- и тэта-мезоны, как мы видели, могут быстро скатиться к пионам.

Единство элементарных частиц-ветеранов с резонансами базируется на особой внутренней связи.

Каждая сильновзаимодействующая частица обладает своими собственными резонансами, отличающимися от нее более высокими значениями массы. Квантовые числа резонансов тоже, как правило, больше, чем у соответствующих частиц-долгожителей. Поэтому, вероятно, правы те, кто рассматривает резонансы в качестве особых возбужденных состояний элементарных частиц.

Резонансы внесли великую смуту в систематику. Все схемы без резонансов не имеют цены. Ведь хлынувший в последние годы «резонансный поток» в несколько раз увеличил число «кирпичей» мироздания. Ежегодно по-

являются работы, содержащие описание доброго десятка новых частиц. Совершенствование экспериментальной техники, видимо, еще увеличит эту ежегодную порцию. Гелл-Манн, например, считает, что возможное число существующих в природе элементарных частиц исчисляется тысячами! Таблица химических элементов с учетом изотопов, вероятно, проиграет в сопоставлении с таблицей «элементарных» частиц. Здесь кавычки более уместны, чем где-либо.

Понятно, что мы вновь возвращаемся к проблеме, можно ли считать частицы действительно элементарными. И теперь нам придется навести порядок среди резонансов, а затем рассмотреть их вместе с элементарными частицами.

Все резонансы разделили на мезонные и барионные. Критерием такого деления может служить уже известный нам барионный заряд, или барионное число B . Как и у мезонов, барионное число мезонных резонансов равно нулю. Для барионных резонансов оно составляет $+1$.

Основу классификации резонансов составляют уже известный нам изотопический спин и гиперзаряд, равный сумме странности и барионного числа. У четырех резонансов, например, η , ω , ϕ и f^0 , один и тот же гиперзаряд (0) и изотопический спин (0). Поэтому сейчас сохраняется лишь одно название: η -мезон. Но для того чтобы отличить эти различные по массе, спину и четности частицы, рядом с символом дают их массу в мегаэлектронвольтах. Поэтому вместо омега-мезон мы можем написать Ω (782,1-), вместо π -мезон (750,1-). Единица и минус после значения массы характеризуют спин и четность. Понятно, что π (750,1-) представляет в таблице целых три резонанса: положительный, отрицательный и нейтральный, что соответствует трем возможным ориентациям изотопического спина.

Так среди резонансного хаоса постепенно намечается порядок. Резонансов хотя и великое изобилие, но отраднее уже то, что их удастся свести к немногим семействам.

Мезонные резонансы, гиперзаряд которых равен нулю, античастиц не имеют. η -Резонансы сами являются античастицами, а у π -резонансов, как и у пионов, отрицательная частица является античастицей по отношению к положительной, а нулевая объединяет частицу и анти-

частицу. Античастицы резонансов, гиперзаряд которых равен 1 (у мезонов он совпадает со странностью), характеризуется противоположным гиперзарядом — 1. Все мезонные резонансы, кроме η (548,0-), распадаются в результате сильного взаимодействия. Понятно, что такой распад идет с соблюдением закона сохранения странности.

Странные мезонные резонансы (каппа) при распаде всегда порождают каоны. Что же касается аномального η (548,0-), то есть основания полагать, что он распадается в результате электромагнитного взаимодействия. Время жизни этого оригинала на 2—3 порядка больше, чем у остальных резонансов. Странность сохраняется, конечно, и в этом случае. Просто она и до, и после распада остается нулевой.

Но не все благополучно в резонансном королевстве. Существует несколько частиц с массой около 1200 Мэв, которые не укладываются ни в какие схемы. Интересно, что некоторые из них при распаде дают мезон и еще один мезонный резонанс. Это как бы резонансы второго порядка. Не будем перечислять все эти загадочные квазичастицы и приведем для примера лишь A -резонанс с массой 1200 Мэв, распадающийся на пион и ро-частицу, и C -резонанс, масса которого (1175—1230 Мэв) все еще твердо не установлена.

Кроме резонансов, образующих при распаде два-три мезона, известны и плодовые четырехпионные частицы. Таков, например, колоссальный B -резонанс, масса которого достигает 1,22 Гэв. Эту частицу, распадающуюся на пион и омега-мезон, т. е. в конечном счете на четыре пиона, часто называют будда-мезоном. Такое название она получила отнюдь не за свои таинственные свойства, хотя спин и четность ее еще точно не установлены. Будда-мезон был обнаружен группой исследователей, среди которых находился и физик из Южного Вьетнама. А в это время как раз мир потрясло известие об очередном самосожжении буддийского монаха. Так и родилось это название — будда-мезон.

λ -Резонанс с массой 1250 ± 30 Мэв тоже распадается на четыре пиона: два положительных и два отрицательных. Но рождение четырех мезонов не является рекордом в мире резонансов. В середине 1964 г. удалось обнаружить и пятипионный резонанс. Возможно, что и это не

предел. Количество новых мезонных резонансов растет буквально с каждым днем. Они грозят затопить физические журналы. Но, как это было в свое время после открытия икс-лучей, в потоке вновь открытых частиц стали попадаться и ложные резонансы. Так, казалось, что при столкновении протона с дейтроном появляется новый двухпионный резонанс. Его даже называли ABC-резонансом по первым буквам фамилий открывших его ученых. Но с названием явно поторопились.

«Ложные резонансы, — пишет член-корреспондент АН СССР К. И. Щелкин, — появляются не вследствие какой-либо ошибки в эксперименте и, конечно, не по злому умыслу. Они возникают в результате очень тонкого эффекта, дающего иногда на фазовой кривой пик, принимаемый за резонанс. Когда кинетическая энергия и соответственно скорость разлетающихся частиц малы, частицы относительно долго находятся в сфере действия ядерных сил соседних частиц. При этом одна из них может оказаться связанной с третьей несколько дольше, чем другая, и на фазовой кривой поэтому появляется пик. Достаточно увеличить энергию сталкивающихся частиц, из которых получается три разлетающиеся, как возрастает относительная скорость разлета, «слипание» прекратится, исчезнет и пик на фазовой кривой».

Таким образом, существует надежный критерий отличия ложных резонансов от истинных. Стоит увеличить энергию частиц, и самозванцы рассыпятся, как картонный домик.

Мезонные резонансы часто рождаются вместе с барионными. Среди барионных резонансов обычно различают нуклонные состояния (гиперзаряд $+1$) и гиперонные состояния, характеризующиеся гиперзарядами 0 , -1 и -2 .

Нуклонные состояния недавно обозначали символом нуклона со звездочкой (N^*). Но частиц появлялось все больше, пользоваться звездочками становилось все неудобнее и потому пришлось прибегнуть к индексам. То же произошло и с гиперонными состояниями, характеризующимися нулевым гиперзарядом. И здесь, как в случае мезонных квазичастиц, пришлось прибегнуть к спасительным скобкам, в которых можно дать индивидуальные параметры частицы.

При распаде нуклонных резонансов всегда рождается нуклон. В противном случае мы бы столкнулись с нарушением сразу двух законов сохранения: странности и барионного заряда. Для группы резонансов с нулевым гиперзарядом, соответствующим странности — 1, обязателен распад с образованием частицы с такой же странностью. Это может быть анти-К-мезон или один из гиперонов: лямбда и сигма. В случае рождения антикаона закон сохранения барионного заряда требует появления еще и нуклона. Но чаще всего рождаются гипероны.

Группа гиперонных состояний, характеризующихся гиперзарядом —1, крайне немногочисленна. Но есть все основания ожидать, что время пополнит ее. Излишне говорить, что странность и гиперзаряд представляющего эту группу Ξ -гиперона сохраняются и при его распаде на пион и кси-гиперон.

Гиперонные состояния с гиперзарядом —2 характеризует пока всего одна сравнительно недавно обнаруженная частица. Это знаменитый омега-минус-гиперон, о котором мы еще будем говорить. Пока же отметим, что эта частица стабильна и резонансов с таким гиперзарядом еще не обнаружили.

Но вернемся к нуклонным резонансам. Систематика их выявила одно весьма интересное обстоятельство. Суть в том, что в этой группе есть три частицы с изотопическим спином $\frac{3}{2}$. Это так называемые Δ -резонансы. При этом значениям проекции изотопического спина ($\frac{3}{2}$, $\frac{1}{2}$, $-\frac{1}{2}$ и $-\frac{3}{2}$) должны соответствовать электрические заряды +2, +1, 0 и —1, т. е. каждый резонанс может находиться в четырех различных зарядовых состояниях.

Итак, мы довольно бегло познакомились с семействами резонансов. Пора, наконец, навести окончательный порядок в этом суматошном мире и приступить к систематизации. На очереди у нас очередная систематика частиц. Но прежде чем говорить о новой схеме Гелл-Манна, вернемся почти на два десятилетия назад.

Все пути ведут к «восьмеричному пути»

Впервые вопрос о том, что π -мезоны могут быть не элементарными, а состоять из нуклонов и антинуклонов, был поставлен Ферми и Янгом в 1949 году. Затем было несколько других предложений. Они становились все

более разнообразными по мере того, как увеличивалось число частиц. Были предложены модель Маркова, модель Сакаты и еще десятка полтора других. В каждой из них предполагалось, что существуют какие-то фундаментальные частицы, из которых построены все остальные, наподобие того, как ядра построены из нуклонов. Обо всем этом уже говорилось.

Но теории сильного взаимодействия, которая математически описывала бы, как могут объединяться и превращаться частицы, до сих пор в физике нет и, по-видимому, еще долгое время не будет. Казалось бы, что это исключает возможность получения из любой составной модели каких-бы то ни было количественных выводов и предсказаний, которые можно было бы проверить экспериментально. Тем не менее такая возможность появляется благодаря тому, что эти модели обладают определенными свойствами симметрии.

Известные нам симметрии можно разбить на два класса. Во-первых, это пространственно-временные симметрии. К ним относятся, например, свойства однородности и изотропности пространства, т. е., иначе говоря, то, что любой физический закон будет иметь одинаковый вид для любых точек пространства и для любых направлений в нем. Точно так же и уравнения, включающие время, симметричны по отношению к прошедшему и будущему. Об инверсии времени уже говорилось. Эти симметрии очень важны, так как с ними связаны основные законы сохранения (энергии, импульса и момента количества движения).

Но кроме пространственно-временных существуют и не зависящие от них внутренние симметрии. Для сильного взаимодействия такая внутренняя симметрия связана с независимостью ядерных сил от заряда частицы. Например, протон и нейтрон имеют почти одинаковую массу, но нейтрон не имеет заряда (поэтому они как бы несимметричны). На атомных расстояниях, где основную роль играют электромагнитные силы, эта разница весьма существенна. Но на очень малых расстояниях (например, внутри ядра), когда сильные взаимодействия становятся в десятки тысяч раз больше электромагнитных, протон и нейтрон можно рассматривать как два слегка отличных состояния одной частицы — нуклона, т. е. они становятся симметричными для сильного взаимодействия. Такие

группы одинаково взаимодействующих частиц называют изотопическими мультиплетами. Это по сути другая формулировка известной нам проблемы.

По мере открытия новых частиц выяснилось, что сами изотопические мультиплеты можно объединить в еще большие семейства, сверх- или супермультиплеты с одинаковыми барионными зарядами, спином и четностью. Здесь мы объединяем частицы не только с разным электрическим зарядом, но и с разной величиной странности.

Существование супермультиплетов указывает на симметрию, в каком-то смысле более общую, чем изотопическая инвариантность. Уже на первых шагах эта классификация принесла существенное открытие. Когда она была создана, были уже известны почти все частицы, обозначенные на рисунке. Но у треугольника барионного декаплета не хватало вершины. Гелл-Манн подсчитал, что в вершине должна стоять частица с отрицательным зарядом, со странностью, равной -3 , и массой около 1670 Мэв . Во многих лабораториях мира начались поиски такой частицы, и через год омега-минус-гиперон был обнаружен.

Как можно представить себе образование супермультиплетов, если считать, что входящие в них частицы построены из других, более фундаментальных частиц?

Прежде чем ответить на этот вопрос, необходимо оговорить одно существенное обстоятельство. Попытки классификации элементарных частиц распространяются только на барионы и на некоторые мезоны. Все эти сильно взаимодействующие частицы по предложению Л. Б. Окуня называют адронами в отличие от более легких частиц — лептонов. Адрон — по-гречески «мощный», «массивный». Практически, по-видимому, построение единой классификации для всех частиц — для адронов и лептонов — наталкивается пока на непреодолимые трудности. Но тот факт, что лептоны не входят в системы элементарных частиц, не может считаться очень большим недостатком этих систем: адронов известно больше, а лептонов всего девять: фотон, два нейтрино, электрон, положительный μ -мезон и античастицы для последних четырех.

Мы уже упоминали о попытке Ферми и Янга создать систему элементарных частиц из протонов и нейтронов и соответствующих им античастиц. В то время как она бы-

ла предпринята, из адронов были известны дублет нуклонов и π -мезоны. π^+ -Мезон можно было представить себе как связанное состояние, своеобразную комбинацию протона и антинейтрона. π^- -Мезон можно было бы «собрать» из антипротона и нейтрона. Нулевой пион, наконец, мог быть представлен комбинацией протона и антипротона или нейтрона и антинейтрона.

Систематику Ферми — Янга можно попытаться развить дальше. Так, из двух нуклонов со спином $1/2$ можно составить триплет с нулевыми значениями спина и барионного заряда и с электрическим зарядом $+1, 0$ и -1 . Если же взять не два, а, допустим, четыре или шесть нуклонов и антинуклонов, то можно сконструировать и ряд других мультиплетов.

Казалось, что систематика Ферми — Янга обещает, наконец, дать элементарным частицам некое подобие менделеевской таблицы. Но все дело испортила странность, которая, как уже не раз говорилось, всегда омрачала надежды на красивые и ясные закономерности микромира. Как мы уже знаем, именно в начале прошлого десятилетия, как из рога изобилия, посыпались странные частицы. Гипероны и каоны никак нельзя было составить из лишенных странности нуклон-антинуклонных пар.

Эту трудность удалось преодолеть японскому физику Сакате. Его схема основывается на трех фундаментальных барионах (фундаментальных полях): протоне, нейтроне и лямбда-гипероне. Они и их античастицы, подобно трем китам, несут на себе Вселенную. Любой мезон или барион может быть представлен комбинацией этих частиц. Мезоны, в частности, являются комбинацией фундаментальной частицы с античастицей. Связи между ними настолько велики, что дефект масс близок к сумме обоих барионов. По схеме Сакаты положительный пион является продуктом слияния протона и антинейтрона, отрицательный — нейтрона и антипротона. Положительный каон состоит из протона и антилямбда-гиперона, отрицательный — из антипротона и лямбда-гиперона. Строение нейтральных мезонов выглядит более сложным. Понятно, что барионный заряд любого из таких «составных» мезонов равен нулю, а все остальные квантовые числа полностью соответствуют опытным значениям.

Вот как, к примеру, построен положительный сигма-гиперон. Он состоит из протона, определяющего его электрический заряд, лямбда-гиперона, ответственного за странность, и антинейтрона, призванного уравновесить барионные заряды.

Фундаментальные поля Сакаты составляют один изотопический дублет (p, n) и один изотопический синглет (Λ). И это не случайно. Более того, взяв любые три сильно взаимодействующие частицы, из которых две составляют изотопический дублет, а одна — синглет, можно построить новую модель, ничем не уступающую схеме Сакаты.

Модель Сакаты просуществовала недолго. Но тем не менее ей суждено было достигнуть зенита. Это произошло, когда физики установили соответствие между фундаментальными полями и тремя лептонами: нейтрино, электроном и отрицательным мюоном. Вырисовывались манящие контуры некоей симметрии, возможно, существующей между основными сильно- и слабодействующими частицами. Эта симметрия даже получила название. Поскольку впервые мысль о ней была высказана на Киевской международной конференции по физике высоких энергий 1959 года, гипотетическую симметрию назвали киевской.

Киевская симметрия сулила полную систематику всех частиц: и адронов, и лептонов. Но открытие нового, четвертого лептона, уже известного нам мюонного нейтрино, разбило эту надежду. А потом посыпались резонансы. Эксперимент все чаще и чаще вступал в противоречия с теорией.

В 1961 году Гелл-Манн и израильский физик Нееман независимо друг от друга разработали новую систематику. Мезоны и барионы в ней строятся аналогично схеме Сакаты. Но вместо трех фундаментальных барионов основными частицами являются целых восемь: $p, n, \Lambda, \Sigma^+, \Sigma^0, \Sigma^-, \Xi^-, \Xi^0$. Мезоны Гелл-Манна и Неемана, как и у Сакаты, состояются из барион-антибарионной пары.

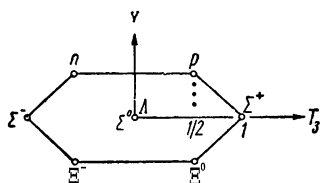
Но поскольку в новой схеме барионов (вместе с антибарионами) не три, а гораздо больше, то больше и число их возможных сочетаний. Следовательно, новая схема резко увеличивает число возможных мезонных

состояний. Оно даже превышает число действительно наблюдаемых на опыте мезонов.

Барионы тоже, в отличие от схемы Сакаты, строятся из пар. В такую пару обязательно входят один из фундаментальных барионов и мезон. Здесь тоже появляется множество возможных барионов, которые распределяются по разным так называемым супермультиплетам, или как еще говорят, унитарным мультиплетам.

Супермультиплет включает в себя несколько обычных и уже известных нам изотопических мультиплетов, которые разнятся друг от друга либо странностью, либо изотопическим спином, либо, наконец, тем и другим одновременно. Грубо говоря, унитарная симметрия собирает частицы в группе по 8 и 10 частиц с примерно одинаковыми свойствами. При этом предполагается, что в одном и том же унитарном мультиплете частицы с разной странностью и различным изотопическим спином все же тождественны друг другу. Возьмем, к примеру, все тот же мультиплет, в данном случае октет, барионов: p , n , Λ , Σ^+ , Σ^0 , Σ^- , Ξ^- , Ξ^0 . Все эти частицы имеют одинаковый полуцелый спин, положительную четность и довольно близки по массе.

Все эти частицы можно расположить в вершинах и центре правильного шестиугольника, получаемого на графике зависимости гиперзаряда Y от $T_3 = Q - Y/2$:



Унитарная симметрия требует, чтобы все частицы в октете были совершенно неразличимы. На самом деле, как мы прекрасно знаем, эти частицы во многом отличаются друг от друга. Достаточно взглянуть на таблицу, чтобы все сомнения на этот счет отпали. Но все дело в том, что различия между частицами проявляются благодаря взаимодействию, которое и придает каждому из адронов специфические черты. Это умеренно сильное взаимодействие снимает вырождение по гиперзаряду и

изотопическому спину. Супермультиплет, таким образом, как бы расщепляется на несколько обычных изотопических мультиплетов.

В чем же тогда отличие одного супермультиплета от другого? Гиперзаряд и изоспин нивелировались и лишь умеренно сильное взаимодействие пробуждает их к жизни. Что же еще остается? Спин? Четность? Масса? Массу трудно установить точно. Значения ее в расщепленном мультиплете все же различны. Можно говорить лишь о порядке ее величины в каждом супермультиплете, о некоем среднем значении, полученном несколько загадочным образом. Что касается барионного заряда, то большего, чем разделение на мезонные ($B=0$) и барионные унитарные мультиплеты ($B=+1$), мы с его помощью не достигнем.

Очевидно, все же такие характеристики, как масса, спин и четность, отражающие наиболее фундаментальные свойства частиц, мы как-то можем использовать в качестве критериев унитарных мультиплетов. По крайней мере они не исчезают, как дым, с вырождением супермультиплета. Наиболее важна среди них именно масса. Все же средние массы различных супермультиплетов должны, как казалось, сильнее отличаться друг от друга, чем массы внутри одного такого мультиплета. Но эти надежды не оправдались. Лишь за редким исключением масса могла выполнять роль главного квантового числа, отличающего один супермультиплет от другого.

А физики настойчиво требовали ответа от новой систематики на основные вопросы. Необходимо было установить, сколько и каких изотопических мультиплетов может быть в каждом унитарном супермультиплете и сколько существует супермультиплетов.

Загадку удалось разрешить с помощью одного из самых абстрактных разделов высшей алгебры. Речь идет о теории групп, определяющей преобразование различных величин.

До сих пор мы избегали говорить о математических проблемах физики. Но с теорией групп теснейшим образом связана сегодня самая интересная страница физики элементарных частиц. Поэтому мы можем позволить себе остановиться на этой проблеме более подробно.

В 1910 году математик Освальд Веблен и физик Джемс Джинс, автор популярной в свое время гипотезы происхождения Земли, обсуждали реформу преподавания математики в Принстоне. Джинс, между прочим, сказал: «Мы можем вычеркнуть теорию групп. Эта тема никогда не найдет себе применения в физике». А через пятьдесят с небольшим лет Фримен Дайсон, автор не менее популярной в наше время «Сферы Дайсона», писал: «За последнее время теория групп превратилась в одну из центральных тем физики и сейчас доминирует в мыслях у всех, кто старается разобраться в природе основных элементарных частиц».

Видимо, будущее науки предсказуемо с очень малой вероятностью. Тем более трудно раз и навсегда определить место математики в естествознании. Взаимосвязи между ними глубоки и разнообразны. Наверное, они так же неисчерпаемы, как и сама наука.

Главные понятия в теории групп — «группа» и «представление». Группа — это совокупность операций, при которой любые две выполняемые последовательно вместе эквивалентны третьей, принадлежащей к тому же комплексу. Возьмем для примера трехмерную группу вращений O_3 . Она определяется как совокупность всех вращений вокруг неподвижного центра в трехмерном пространстве. Понятно, что последовательное применение вращений R_1 и R_2 эквивалентно третьему вращению R_3 . Представление же группы — это совокупность чисел и правил преобразования таких чисел, где каждой группе операции соответствует вполне определенное преобразование чисел представления. Не очень понятно, конечно. Но, наверное, яснее не скажешь. Абстрактные математические понятия трудно поддаются популярному изложению. Поэтому стоит, пожалуй, прибегнуть к хотя бы самым элементарным алгебраическим символам.

Преобразования в представлении обязательно должны быть линейными. Иначе говоря, если при каком-либо превращении p переходит в p' , а q в q' , то $p+q$ должно перейти в $p'+q'$. Примером представления O_3 служит декартова система координат xuz , определяющая для любой точки p ее положение в трехмерном мире. Если приложить вращение R , то точка p перемещается в новое положение p' с координатами $x'y'z'$. Вот, собственно, и все правило для xuz . Рассмотренное представление

O_3 называется триплетным представлением. Термин для нас уже достаточно привычный.

Но обратимся к конкретному случаю из физики элементарных частиц. Как мы знаем, существует триплет пионов. Поэтому мы смело можем считать пионы триплетным представлением группы O_3 с той же абстрактной структурой, но, естественно, не имеющей ничего общего с обычным вращением. Это даст нам возможность предсказать многие свойства пионов. При этом мы будем исходить только из теории групп, ничего не зная о внутренней природе операций, составляющих группу O_3 . Если бы мы провели такую операцию, то убедились бы, что все предсказания свойств пионов согласуются с экспериментальными данными.

Вот вам и теория групп. Группа O_3 , кстати, известна в физике под названием «группы изотопического спина».

Но перейдем к интересующей нас унитарной симметрии. Она основана на группе U_3 , более широкой, но менее известной, чем O_3 . Проведем аналогию между U_3 и некоей механической моделью. Эта модель будет относиться к абсолютно абстрактной U_3 как вращение в трехмерном мире к группе O_3 . Такой модели на самом деле не существует, и нам она нужна лишь для иллюстрации.

Допустим, что где-то существует планетная система, в которой тяготение меняется прямо пропорционально первой степени расстояния, а не обратно пропорционально его квадрату. Предположим далее, что сами планеты очень невелики, а их взаимные возмущения ничтожны. Каждая планета в этом случае будет двигаться по эллиптической орбите совершенно независимо от других.

Периоды вращения у всех планет одинаковы, поскольку внешние планеты обращаются вокруг звезды быстрее внутренних. Можно принять также, что положение всех планет будет ежегодно повторяться.

Движение планеты можно с точностью определить по двум точкам в пространстве: положению в данный момент p и положению, которое планета займет, допустим, через полгода q . Другая планета, движущаяся с полугодовым обгоном первой, определяется точками q и $-p$, где $-p$ означает диаметрально противоположную p точку. Общая энергия каждой из этих планет будет опреде-

ляться суммой квадратов расстояния точек p и q от звезды $O(p^2 + q^2)$. Представляемая этой моделью группа U_3 определяется как система преобразований всех планетных движений, но с тремя ограничениями: 1) все преобразования линейны; 2) при любом преобразовании общая энергия каждого движения не меняется; 3) если по данной орбите обращаются две и более планет, то преобразование, переносящее одну из них на новую орбиту, распространяется и на остальные.

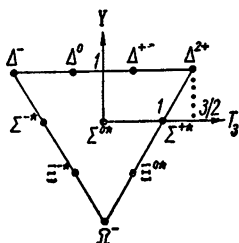
Для применения группы U_3 в физике ее удобно свести к меньшей группе SU_3 . Для этого достаточно пренебречь временем. Иначе говоря, в группе SU_3 все движения, относящиеся к одной и той же орбите, считаются тождественными независимо от времени. Короче, когда в группе U_3 одно планетарное движение преобразуется в другое за определенное время, в группе SU_3 это совершается безотносительно ко времени. Эта теория называется восьмеричным путем, потому что один из возможных супермультиплетов — знакомый нам октет — состоит из 8 близких частиц. Впрочем, название «The eightfold way» подразумевает не только восьмеричный путь, но и еще две восьмерки. Первая восьмерка — это восемь квантовых чисел: три составляющих изотопического спина, гиперзаряд и еще четыре безымянных числа, связанных «умеренно сильным» взаимодействием. Другая восьмерка — это своеобразная дань юмору. Просто Гелл-Манну и Нееману припомнилось изречение Будды о восьми праведных путях, которые надо пройти на пути к блаженству.

Но кроме октета восьмеричный путь привел и к супермультиплетам, содержащим 10, 27 и более частиц. Впрочем, в этом случае говорят уже о десятиричной и двадцатисемиричной системах.

Итак, начнем с того, что SU_3 -теория предсказала существование 10 частиц — декаплета, с одинаковым спином и четностью. График для такого декаплета имел вид перевернутого правильного треугольника (см. стр. 276).

Девять точек на этом графике представляли собой уже известные частицы, зато точка в вершине треугольника, обозначенная Ω^- , не представляла ничего. Теория SU_3 сразу предсказала для этой гипотетической частицы барионный заряд 1, электрический заряд —1, гиперзаряд

—2 и спин $3/2$, как и у остальных частиц декаплета. Кроме того, указывались масса частицы и ее четность (положительная). Предсказанный Гелл-Манном синглет, знаменитый Ω^- (теперь понятно, почему мы так упорно называли его знаменитым) был обнаружен в феврале 1964 года на фотографиях в пузырьковой камере, сделанных в Брукхейвене. Для наблюдения первой из Ω^- пришлось просмотреть 300 тысяч снимков.



Это был подлинный триумф теории. Великолепное доказательство тому, что абстрактная симметрия SU_3 действительно существует в природе и управляет поведением сильно взаимодействующих частиц.

Перепрыгнем через несколько ступенек лестницы, ведущей от хаоса к стройности и порядку. В хаосе частиц уже вырисовываются контуры такого порядка. Магические числа 35 и 56 характеризуют магию элементарных частиц, все многообразие которых удалось разбить на два больших класса: 35 мезонных состояний и 56 барионных. Эти состояния легко перечислить и уложить в схему, в которой уже проглядывают черты новой периодической системы.

На сегодняшний день существует восемь мезонов с нулевым спином. Это π^+ , π^- , π^0 , K^+ , K^- , K^0 , \bar{K}^0 , η^0 .

Девять мезонов обладают спином, равным 1: ξ^+ , ξ^- , ξ^0 , φ^0 , ω^0 , K^{*+} , K^{*-} , K^{*0} , K^{*0} .

Таким образом, мы располагаем восьмеркой мезонов с нулевым спином и девяткой мезонов, каждый из которых имеет три состояния (спин 1). Всего, следовательно, будет $8 \times 1 + 9 \times 3 = 35$ мезонов.

Эти 35 частиц можно уложить в квадрат из $6 \times 6 = 36$ клеток. Правда, у нас одной частицы не хватает. Но так оно и должно быть. Это следствие теории групп, кото-

рое требует, чтобы в квадрате из 36 клеток было именно 35 частиц.

Перейдем теперь к барионам. Кроме 56 частиц существует, как мы знаем, и 56 античастиц. Это нужно сразу же оговорить, так как у мезонов частицы вошли у нас в одну группу с античастицами.

Прежде всего напомним (в который раз!) октет барионов с полуцелым спином: n , p , Σ^+ , Σ^- , Σ^0 , Λ , Ξ^0 , Ξ^- .

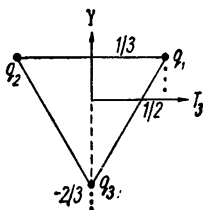
Теперь декаплет частиц со спином $3/2$: Δ^{2+} , Δ^+ , Δ^- , Σ^{*+} , Σ^{*0} , Σ^{*-} , Ξ^{*+} , Ξ^{*0} , Ω^- . Всего, значит, есть 8 частиц-дублетов и 10 частиц с четырьмя спиновыми состояниями $8 \times 2 + 10 \times 4 = 56$.

Но, вскользь об этом уже упоминалось, зарегистрировано довольно много резонансов, которые пока не укладываются ни в одну классификацию. Схема бесспорно блестящая, но «одинокый» F -резонанс, четырехпионный B -резонанс и некоторые другие загадочные частицы несколько омрачают ее блеск. И все же заметная часть уложилась в два гигантских мультиплета.

«Новая классификация, — пишет академик Я. Б. Зельдович, — охватывает только сильно взаимодействующие частицы. В нее не включены, следовательно, электроны, мюоны, нейтрино, кванты. Это мудрое самоограничение существенно: в нем залог успеха».

С момента открытия Ω^- -частицы число работ, связанных с теорией групп, превзошло все рекорды. Трудно даже перечислить публикации на эту тему. Но настал день, когда в потоке информации мелькнуло такое, что заставило насторожиться самых «безумных» теоретиков.

Из теории SU_3 (кстати, недавно опубликована еще одна классификация адронов, основанная на SU_6 -симметрии и даже на SU_{12} -симметрии, но о них мы говорить не будем) следует один исключительно интересный график:



Если, как это мы сделали для октета и декаплета, отождествить точки в вершинах треугольника с реальными частицами, то получится, что должны существовать частицы с поистине сногшибательными свойствами: дробными электрическими зарядами $\frac{2}{3}$ у q_1 , $-\frac{1}{3}$ у q_2 и $-\frac{1}{3}$ у q_3 , а также дробным гиперзарядом!

Существование таких частиц-монстров, по образному выражению профессора А. Я. Смородинского, одновременно постулировали Гелл-Манн и швейцарский физик Цвейг.

Ревность короля Марка. Джеймс Джойс и монстры

Так в физику вошло понятие «кварк», которое не сходит со страниц научных и популярных изданий. Перевести слово «кварк» на русский язык весьма затруднительно. Гелл-Манн взял его из романа Дж. Джойса «Пробуждение Финнегана».

Финнегану во сне мерещится, что он вовсе не рядовой дублинец и к тому же горбатый трактирщик, а легендарный король Марк, у которого племянник Тристан, рыцарь «круглого стола» короля Артура, похитил прекрасную Изольду. Над кораблем, на котором король Марк гонится за Изольдой, кружат чайки (впрочем, быть может, это вовсе не чайки, а жестокие судьи Финнегана) и злобно кричат. Крики птиц сливаются в слова песенки, вольный перевод которой звучит так: «Три кварка для мистера Марка. Вот он весь без прикрас — в чем мать родила. Будет забавно увидеть, как охотится он за своими штанами в парке, как ловит свою рубашку. Он смешной старый петух, который когда-то шлепнулся из Ноева ковчега. А Тристан — молодой щеголь, который достигнет Изольду и овладеет ею, не моргнув глазом. Три кварка, три кварка, три кварка!»

Что же такое кварки, которые сулили роковые чайки Финнегану? Если перевести этот термин, то получится вроде: «бредовое», «немыслимое», «дикое», «невообразимое».

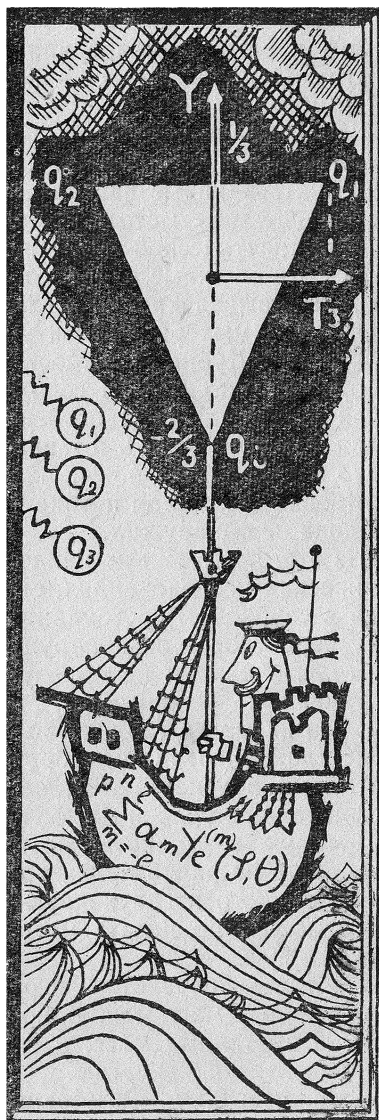
Итак, электрический заряд кварков дробный.

С барионным зарядом дело обстоит проще — каждый из них имеет заряд $+\frac{1}{3}$ (антикварки, естественно, $-\frac{1}{3}$).

Третья величина — спин. Как и у многих частиц, спин у них равен $+1/2$.

Чтобы выполнить свою роль строительного материала для элементарных частиц, кварки должны обладать и странностью. Гелл-Манн предположил, что у двух из трех кварков странность равна 0 и у одного — 1.

Наконец, кроме всех перечисленных у элементарных частиц есть еще одна чрезвычайно важная характеристика — масса. Пока частица движется в вакууме в полном одиночестве и ни с чем не взаимодействуя, масса ее остается постоянной. Но стоит ей войти в состав какого-либо ядра, как часть ее массы переходит в энергию кинетического движения или излучается. Например, когда четыре протона, общая масса которых составляет $6,690 \cdot 10^{-24}$ г, объединяются в альфа-частицу (ядро атома



гелия), масса которой равна $6,644 \cdot 10^{-24}$ г, то $0,046 \cdot 10^{-24}$ г, или примерно 0,7% массы начальных четырех протонов, превращается в энергию.

Это и есть термоядерная реакция, которая создает энергию Солнца и звезд в космосе и энергию водородной бомбы на Земле.

Возможен и обратный процесс. Если частица, летящая с огромной скоростью, налетит на другую, то могут образоваться новые частицы, общая масса которых будет больше массы столкнувшихся частиц за счет поглощенной кинетической энергии.

Все эти сложные взаимоотношения частиц, сопровождающиеся выделением и поглощением энергии, наблюдаются и в самых различных ускорителях, вроде тех, что работают в Дубне под Москвой или в Брукхейвенской лаборатории в США. И если бы у кварков не было еще одной фантастической особенности, их превращения не могли бы ускользнуть от внимания физиков. Однако никто и нигде, ни в потоке космических частиц, ни в искусственно созданном потоке частиц в ускорителях, кварков пока не обнаружил.

Из этого, что они не найдены и при обычных физико-химических исследованиях, следует, что кварки встречаются в свободном состоянии крайне редко—именно поэтому вероятность их обнаружения исключительно мала. Но то, что кварки не образуются при столкновениях в современных ускорителях, может быть объяснено и тем, что их масса гораздо больше массы протонов и кинетической энергии, приобретенной бомбардирующими частицами в ускорителях, не хватает для образования частиц такой большой массы.

Тут нужно уточнить: масса того кварка, у которого странность не равна нулю, процента на полтора больше, чем у каждого из двух других, которым мы ориентировочно можем приписать массу, равную 10 массам протона.

Но тогда получается, что из трех кварков весом в 30 протонных масс можно построить один протон. При этом 29 протонных масс, т. е. 97% первоначальной массы, превратятся в энергию.

Сравните: 0,7% «исчезающей» массы при термоядерных реакциях и 97% при «кварковых» — в 140 раз больше.

Обозначив кварки малыми буквами p , n , λ , свойства их можно сгруппировать в простую таблицу:

Кварк	Электрический заряд	Барионное число	Странность	Спин
p	$+2/3$	$+1/3$	0	$1/2$
n	$-1/3$	$+1/3$	0	$1/2$
λ	$-1/3$	$+1/3$	-1	$1/2$

Как же из трех кварков (и трех антикварков) можно построить многообразное и все увеличивающееся семейство адронов?

Так как у кварков барионный заряд равен $1/3$, то для того чтобы построить барион, надо взять три кварка (или четыре кварка и один антикварк и т. д. для более сложных случаев). Если спины у них ориентированы в одном направлении, то спин полученного бариона будет равен $3/2$. Всего можно построить из трех разных сортов частиц 10 различных симметричных комбинаций. В скобках под каждой комбинацией поставим электрический заряд и странность из таблицы свойств кварков:

$\lambda\lambda\lambda$			
$(-1, -3)$			
$p\lambda\lambda$		$n\lambda\lambda$	
$(0, -2)$		$(-1, -2)$	
$pp\lambda$		$pn\lambda$	
$(+1, -1)$		$(0, -1)$	
ppp		pnp	$nn\lambda$
$(+2, 0)$		$(+1, 0)$	$(-1, -1)$
		pnn	nnn
		$(0, 0)$	$(-1, 0)$

По величинам электрических зарядов и странностей вся эта группа частиц относится к декаплету барионов, изображенному в виде треугольника.

Итак, мы получили барионный декаплет со всеми характеризующими его значениями квантовых чисел. Средние массы частиц этого супермультиплета по строчкам снизу вверх: 1236, 1382, 1529 и 1675. Разности соседних чисел будут соответственно 146, 147, 146. Это приводит к предположению, что p - и n -кварки имеют примерно одинаковую массу, а λ -кварк на 146 Мэв тяжелее их

Перейдем теперь к барионному октету. Составить его из кварков по тому же правилу нетрудно:

$$\begin{array}{ccc}
 p\lambda\lambda & & n\lambda\lambda \\
 (0, -2) & & (-1, -2) \\
 & p n \lambda & \\
 & (0, -1) & \\
 p r \lambda & p n \lambda & n n \lambda \\
 (+1, -1) & (0, -1) & (1, -1) \\
 & p r n & p n n \\
 & (+1, 0) & (0, 0)
 \end{array}$$

Комбинации кварков здесь те же, что и в декаплете, но спин частиц должен быть $\frac{1}{2}$ и сами частицы не должны повторять те, которые уже появились в декаплете. По правилам квантовой механики спин частицы может принимать лишь такие направления, при которых его проекция на некоторую ось z принимает определенные значения, отличающиеся друг от друга на единицу. Таким образом, проекция спина отдельного кварка может быть только $+\frac{1}{2}$ или $-\frac{1}{2}$.

Этих положений было бы достаточно, чтобы показать, почему в барионном октете отсутствуют угловые члены декаплета (ppr , nnn и $\lambda\lambda\lambda$), а комбинация $p n \lambda$ в центре повторяется дважды. Но здесь мы эти рассуждения проводить не будем.

Итак, все барионы нашей системы построены. Аналогично из антикварков строятся антибарионы. Прежде чем перейти к мезонам, рассмотрим, как выполняется для барионного октета правило масс. Средние массы по строчкам снизу вверх 939, 1173, 1818 и соответствующие разности 234 и 145. Как видим, оно по еще не ясной причине хорошо оправдывается только для второй разности.

Для мезонов барионный заряд равен нулю. Следовательно, каждый мезон в простейшем случае должен состоять из одного кварка и одного антикварка. Из трех кварков и трех антикварков можно составить девять та-

ких комбинаций:

$$\begin{array}{ccccc}
 & p\bar{\lambda} & & n\bar{\lambda} & \\
 & (-1, -1) & & (0, -1) & \\
 p\bar{p} & & n\bar{n} & & \bar{\lambda}\lambda \\
 (0, 0) & & (0, 0) & & (0, 0) \\
 p\bar{n} & & & & p\bar{p} \\
 (+1, 0) & n\bar{\lambda} & & n\bar{\lambda} & (-1, 0) \\
 & (+1, +1) & & (0, +1) &
 \end{array}$$

Если спины кварков направлены в противоположные стороны, то будет получен π -октет мезонов со спином 0; при одинаковом направлении спинов — ρ -октет мезонов со спином 1.

В центре схемы находятся комбинации кварка со своим собственным антикварком. Такая пара может аннигилировать, как аннигилируют, встречаясь, электрон и позитрон, испускающие при этом кванты электромагнитного поля — фотоны. Но возможно и возникновение пары электрон — позитрон за счет поглощения фотона. Естественно предположить, что существуют аналогичные аннигиляция и возрождение пары кварк — антикварк, причем каждая пара $p\bar{p}$, $n\bar{n}$ и $\lambda\bar{\lambda}$ может превратиться в любую другую.

Теперь схема построена полностью. Частицы, не входящие в нее (со спином 2 или 5/2 и т. д.), тоже могут быть сконструированы из тех же p -, n -, λ -кварков и их антикварков, если комбинировать их по четыре или по пять. Таким образом, теория кварков дает все обнаруженные до сих пор элементарные частицы и предсказывает, какие еще не открытые экспериментально частицы должны существовать в природе. Для гипотезы и этого уже немало — быть логически стройной, объяснять все то, что могут объяснить и другие теории, не противоречить ни одному известному факту и предсказывать новые. Но у модели кварков есть и еще одно преимущество — она сумела объяснить то, что оставалось загадочным для других теорий.

Ученые придумали для объяснения всего многообразия микромира кроме кварков и другие фундаменталь-

ные частицы. Особенно смущали «противоестественные» дробные электрические заряды кварков. Родилась своеобразная гибридная теория «нормальных» кварков и отрицательно заряженного протобариона, носителя барионного заряда. Согласно этой теории, кварки имеют электрические заряды $+1$, 0 и 0 при барионном заряде, равном 0 .

Создать достаточно удовлетворительную классификацию элементарных частиц удалось и при помощи девяти барионетов с барионным зарядом $1/9$, но зато с целочисленными электрическими зарядами. Впрочем, тут сказались главным образом привычка и предрассудки: по существу дробный барионный заряд ничем не лучше дробного электрического заряда и барионеты столь же химеричны, как и кварки Гелл-Манна.

Все эти химеры претендовали на разрешение трудностей, возникших в связи с быстрым увеличением количества элементарных частиц. Но существовал один экспериментальный факт, который не могли объяснить ни все прежние физические теории, ни протобарион и барионеты. И только теория кварков смело взялась за решение сложной задачи. Речь идет о магнитном моменте.

Проще всего было бы предположить, что магнитный момент возникает потому, что заряженные частицы вращаются вокруг собственной оси с постоянной скоростью. Но тогда у незаряженного нейтрона совсем не должно быть собственного магнитного момента, сколько бы он ни крутился. На самом деле эксперимент показал, что магнитный момент нейтрона составляет $0,685$ магнитного момента протона и направлен не вдоль спина, как у протона, а против него, как у электрона. Какую сложную конфигурацию зарядов внутри нейтронов ни придумывали, объяснить его необычайные магнитные свойства не удавалось.

А гипотеза кварков справилась с этими трудностями.

Однако, что бы ни говорили оптимисты, кварки остаются гипотезой и довольно сомнительной до тех пор, пока их не удастся обнаружить экспериментально. Такие попытки уже предпринимаются. И первые результаты, скажем так, далеко не безнадёжны.

4

ЧАСТЬ

ПРОСТРАНСТВО. ВРЕМЯ. ВАКУУМ

Фон Лауз: «Ничто так не волнует человечество, как свойства пространства и времени».

Классическая физика считала свойства пространства и времени наперед заданными, вытекающими из простейших аксиом. Более того, пространство считалось тогда областью изучения математики, а не физики. Более двухсот лет физики говорили о некоем «абсолютном» истинном математическом пространстве. Время Ньютон тоже определял как «абсолютное, истинное и математическое, протекающее само по себе и, благодаря своей природе, равномерно и без всякой связи с каким-либо внешним предметом, обозначаемое также именем продолжительность».

Такое определение времени недалеко ушло от данного Блаженным Августином, который говорил примерно так: «Я отлично представляю себе, что такое время, пока не просят пояснить, что это такое, и совершенно перестаю понимать, как только пытаюсь объяснить».

Революция, совершенная гением Эйнштейна, прежде всего привела к тому, что пространство и время стали полноправными объектами физического исследования и утратили авторитет «априорных форм».

В остроумной эпиграмме Попа говорится:

Был этот мир глубокой тьмой окутан.
Да будет свет!— И вот явился Ньютон.
Но сатана недолго ждал реванша,
Пришел Эйнштейн, и стало все как раньше.

Эта шутка явилась выражением довольно распространенной мысли. Многим казалось, что отказ от классической механики — это отказ от научного познания материального мира.

В действительности же картина мира в современной физике отличается своей особой внутренней стройностью и даже простотой.

Основная идея Эйнштейна состоит в том, что свойства пространства и времени должны не задаваться наперед, а выводиться из опыта. Свойства пространства и времени совсем не обязательно должны быть всегда и везде равнозначными; они меняются от точки к точке и от момента к моменту. Но об этом несколько позднее. Пока же нам предстоит путешествие, полное парадоксов, самых неожиданных метафор и, к сожалению, не всегда сразу понятных аналогий.

С древнейших времен человек стремился познать движение небесных тел. Огромный материал, накопленный поколениями астрономов, позволил Кеплеру сформулировать знаменитые законы движения планет вокруг Солнца. Механика Ньютона в какой-то мере впитала в себя и дала объяснение этим законам, так как закономерности движения планет были выведены из более общих законов. Здесь был достигнут первый решающий успех физической теории.

Чтобы почувствовать принципиальную новизну теории Эйнштейна, нам придется вспомнить основы ньютоновской механики.

Всякое механическое движение тела относительно. Его можно определить лишь по отношению к другим телам. Как уже говорилось, положение тела в пространстве задается системой координат. Оси координат, связанные с телом, по отношению к которому задается движение, дают нам систему отсчета.

Системы отсчета, где все ускорения тел вызваны только взаимодействиями между телами, называются инерциальными. Ни с чем не взаимодействующее тело движется относительно инерциальной системы прямолинейно и равномерно, «по инерции».

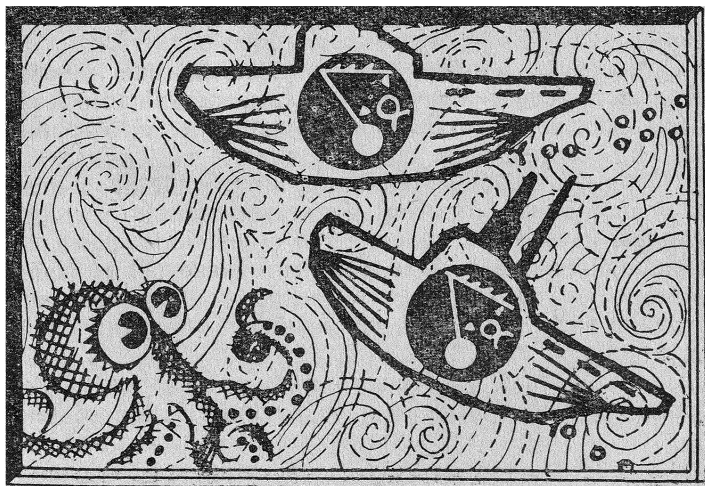
Все это известные вещи. Призовем теперь на помощь сомнение. А есть ли инерционные системы на самом деле? Очевидно нет. Но систем, сколь угодно близких к инерциальным, назвать можно много. У каждой системы своя степень инерциальности. Взять хотя бы поезд и станционный перрон. Одна система отсчета здесь связана с перроном, другая — с поездом. Раздался свисток, и поезд тронулся. Пассажиры испытали легкий толчок, и качнулись в сторону, противоположную движению поезда. Этот толчок (ускорение), очевидно, никак не вызван взаимодействием пассажиров с поездом. Он следствие

характера движения поезда. На вокзале же никто толчка не ощутил. Отсюда вывод: система отсчета, связанная с перроном, более инерциальна, чем связанная с поездом.

Но если мы захотим найти отклонения от инерциальности в системе, связанной с перроном, то есть с Землей, это тоже нетрудно сделать. Так, камень, брошенный с большой высоты, из-за вращения Земли несколько отклонится от направления отвеса к востоку. Отвес в данном случае укажет нам направление взаимодействия камня с Землей. Это взаимодействие в ньютоновской механике носит название силы тяжести. Камень отклонился от направления силы тяжести из-за вращения Земли вокруг оси, то есть из-за известной неинерциальности ее движения. Любое взаимодействие между телами выражается в терминах и размерностях силы, которая может быть и отличной по природе от силы тяжести.

Поэтому, переходя ко второму закону Ньютона, мы можем сказать, что мерилом силы является ускорение, которое она сообщает телам.

Если одна и та же сила одинаково ускоряет разные тела, то этим телам приписывают одинаковую массу. Масса тела не зависит от того, какие силы и в какой момент на него действуют. Это отнюдь не самоочевидная



истина. Она вытекает лишь из обобщения опытных данных, и, как мы уже знаем из первой беседы о теории относительности, постоянство массы тела при его движении есть закон приближенный, справедливый для сравнительно невысоких скоростей. При релятивистских скоростях этот закон не соблюдается.

Но не только взаимодействием тел вызываются ускорения в инерциальных системах. Если вызванное инерциальностью системы ускорение тела (толчок, испытываемый пассажирами) умножить на его массу, мы получим величину силы инерции.

Мы можем увидеть различие силы инерции и сил взаимодействия внутри железнодорожного вагона (или подводной лодки). Сколько раз нам еще понадобится этот замечательный воображаемый вагон. Эта замечательная физическая лаборатория в закрытом вагоне. Еще со времен галилеевского корабля с изолированной каютой кочует эта лаборатория из книги в книгу.

К стенкам нашего вагона двумя одинаковыми пружинами прикреплены два чугунных шара — большой и маленький. Если растянуть пружины на одинаковую длину и отпустить, то ускорения шаров будут обратно пропорциональны их массам. Но те же два шара, не прикрепленные к стенкам, при внезапном отправлении или остановке вагона ускорятся совершенно одинаково. В этом главное отличие сил инерции от сил взаимодействия.

Существует, однако, сила взаимодействия, сообщающая всем без исключения телам, независимо от их массы, совершенно одинаковое ускорение. Это гравитация, сила притяжения тел к Земле.

Впервые это поразительное и никем еще необъясненное свойство силы тяжести экспериментально установил Галилей, изучавший падение тел с вершины знаменитой наклонной башни в Пизе. Любые другие силы взаимодействия — упругие, электрические, магнитные, сопротивление различных сред движению тел — этим свойством не обладают.

Сходство силы тяготения с силами инерции — независимость сообщаемых ими ускорений от массы тел — это ключ к тому всеобъемлющему обобщению классической механики, которое стало известно под названием общей теории относительности Эйнштейна. Вот куда при-

вел нас отход от школьных формулировок ньютоновских законов.

В нашем вагоне-лаборатории можно создать условия, при которых сила инерции и сила тяготения будут неотличимы. Если совершенно закрытый вагон заставить двигаться по горизонтальному железнодорожному полотну с постоянным ускорением, то подвешенный к потолку отвес отклонится от направления, которое на перроне будет считаться вертикальным. Он, впрочем, и все предметы в вагоне, будет вести себя так, как если бы вагон с постоянной скоростью шел в гору, а сила тяжести представляла собой сумму действительной силы тяжести и силы инерции в ускоренно движущемся по горизонтальному полотну вагоне. В обоих случаях, очевидно, все тела получают совершенно одинаковые ускорения. Поэтому, пользуясь одними только весами и не зная подлинной величины силы притяжения, мы не можем узнать, что происходит с вагоном в действительности: движется ли он равномерно на подъеме или же ускоренно по ровному месту.

Законы природы формулируются одинаковым образом, если относить движение тел к инерциальным системам отсчета. В этом смысл релятивистского принципа Галилея. В специальной теории относительности Эйнштейн распространил этот принцип и на электромагнитные явления. Сходство сил инерции и тяготения в достаточно малой области пространства, вроде нашего вагона, позволило Эйнштейну провести еще одно обобщение. Поэтому если считать тождественными силы тяжести и инерции, то законы движения одинаково формулируются и в инерциальных, и в неинерциальных системах отсчета. Отсюда начинается уже общая теория относительности, для которой достаточно сходства сил в любом, сколько угодно малом объеме.

Полного сходства между силами тяжести и инерции достигнуть нельзя. На примере вращающегося тела мы можем видеть, как с увеличением расстояния от оси вращения увеличивается и центробежная сила инерции. Для силы тяжести в пространстве, не заполненном веществом, такая ее зависимость от координат недостижима.

В общей теории относительности закон тяготения Ньютона — это лишь первое приближение, истина самой низшей инстанции. Но теория относительности от-

нюдь не дает другого, более точного выражения силы. Здесь проявляется новое качество, теория тяготения Эйнштейна совершенно иначе трактует самую сущность взаимодействия. Поэтому в простой ньютоновской форме это взаимодействие нельзя выразить.

На уровне современных знаний понятие действующей между телами силы становится все более неудовлетворительным. Если верить Ньютону, что сила обратно пропорциональна квадрату расстояния, как бы велико оно ни было, то остается принять за аксиому, что одно тело, действуя на другое, как бы заранее знает, где то другое тело находится. И не только «знает», но мгновенно «выбирает» нужную величину силы. Такое взаимодействие, иначе говоря, происходит в форме дальнего действия. Если бы природа действительно «работала» по принципу дальнего действия, то мы располагали бы тогда великолепной возможностью мгновенно передавать сигналы на расстояние. Ведь достаточно было бы передвинуть какое-нибудь тело, чтобы все тела во Вселенной мгновенно испытали некоторое изменение силы тяжести. Такой сигнал дал бы возможность установить по одному времени все часы во Вселенной независимо от их взаимного движения.

Однако даже в масштабах Земли синхронизация часов происходит, как мы это знаем, по радио, т. е. при помощи электромагнитных сигналов. Эти сигналы передаются хоть и с огромной скоростью, но не бесконечной. Скорость света величина конечная. Если сверяемые часы относительно друг друга находятся в покое, то поправка на запаздывание сигнала может быть легко учтена. Но если одни часы движутся относительно других, то гипотетический учет запаздывания приведет нас на путь, по которому двигалась мысль Эйнштейна. Как мы уже знаем, Майкельсон в 1887 году показал, что скорость света в пустоте одинакова по отношению к любому телу, а Эйнштейн в 1905 году в специальной теории относительности показал, что для электромагнитных явлений, так же как и для перемещения тел, нельзя определить абсолютное движение.

Если бы одно тело испускало электромагнитные волны с равной скоростью во всех направлениях, а другое с большей скоростью в каком-то одном преимущественном направлении, то мы могли бы первое тело считать абсо-



лютно покоящимся, а второе—абсолютно движущимся. Но ни абсолютного покоя, ни абсолютного движения нет.

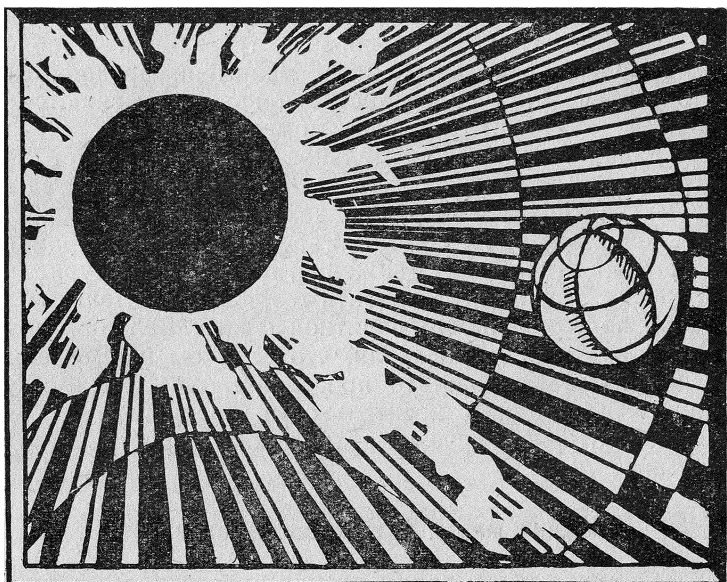
Простые вычисления показывают, что при сверке часов на двух движущихся друг относительно друга телах большее время всегда покажут те часы, которые в момент сверки считаются покоящимися. Но ведь любые из этих двух предметов с одинаковым правом могут считаться покоящимися! Здесь-то и кроется ошеломительная новизна теории, ее замечательный вывод. Отставание часов будет взаимным. И тем большим, чем ближе их относительная скорость к скорости света.

Это верно не только для тех механических счетчиков времени, которые мы называем часами. Любой периодический, физический, химический и биологический процесс подчиняется этому закону.

Мы не знаем, можно ли определить время, не пользуясь ни искусственными, ни естественными часами. Во всяком случае мы не можем себе даже вообразить такое определение времени без всяких часов. Будь то обычные ходики, атомные часы, водяные клипсидры, удары сердца или постепенное сгорание свечи. С другой стороны, нам известно постоянство скорости света в вакууме. Отсюда следует вывод, что невозможно определить какое-то универсальное абсолютное время для Вселенной: у каждого движущегося тела свое собственное время. Этот важнейший вывод, сделанный Эйнштейном, позволил распространить принцип относительности Галилея на электромагнитные процессы.

Теперь мы можем вновь вернуться к закону Ньютона. Так как, пользуясь для синхронизации часов электромагнитными сигналами, мы физически не можем определить абсолютное время, то сомнительной выглядит и возможность синхронизации часов посредством мгновенно передающейся силы тяготения.

Отсюда ясно, что искомая форма закона тяготения по меньшей мере требует уточнения, которое устранило бы противоречие с выводами специальной теории относительности. Нельзя же допустить существование двух времен: абсолютного, вытекающего из силы тяготения, и относительного, определяемого по электромагнитным сигналам. Как уже было сказано, ключ к уточнению закона Ньютона — это сходство между силами инерции и силой тяготения.



Мы можем охарактеризовать электромагнитное поле в каждой точке пространства и в каждый момент времени движением пробных электрических зарядов. Точно так же гравитационное поле определяется движением пробной массы. Механика Ньютона требует, чтобы пробная масса в отсутствие гравитационного поля и любых других сил относительно инерциальной системы отсчета двигалась прямолинейно и равномерно. В гравитационном поле пробное тело приобретает независимое от величины его массы ускорение. Но в малой области пространства ускорение тел под действием силы тяжести в инерциальной системе физически неотлично от ускорения, вызванного неинерциальностью системы отсчета. Пробная масса в неинерциальной системе принимается движущейся свободно.

История науки не раз продемонстрировала, что формулировка какого-нибудь закона природы тем точнее, чем меньше она зависит от произвола наблюдателя. Законы природы объективны. Это положение позволило Эйнштейну построить теорию тяготения так, что закон

движения в гравитационном поле оказался физически тождественным закону свободного движения. Чтобы объяснить увеличение кривизны траектории пробного тела вблизи локальных масс, Эйнштейн предположил, что эти свойства пространства и времени меняются от точки к точке и от момента к моменту.

Общая теория относительности рассматривает пространство и время как физические объекты, свойства которых неотделимы от движущейся в них материи. Нет движения вне пространства и времени, нет пространства и времени отдельно от движения. Как-то один журналист попросил Эйнштейна выразить теорию относительности в одной по возможности понятной фразе. Великий физик ответил: «Раньше полагали, что если бы из Вселенной исчезла вся материя, то пространство и время сохранились бы, теория относительности утверждает, что вместе с материей исчезли бы также пространство и время».

Плоский мир и четвертое измерение

Так впервые в истории физики пространство и время, грубо говоря, попали на лабораторный стол. Геометрия мира стала частью физики.

Больше нельзя было исходить из умозрительных геометрических постулатов. Во владения геометрии властной рукой постучался Эксперимент. Знакомые со школы постулаты евклидовой геометрии приобрели новое качество. Они тоже предстали в качестве обобщенных опытных фактов, но относящихся к малой области пространства — времени. В больших областях, в масштабах Галактики они уже неприемлемы. Здесь нужны уже более точные и более общие геометрические закономерности, которые выступают в неразрывной связи с законами гравитационного поля и составляют с ними одно целое. Если, кроме гравитационного поля, никаких других полей нет, то свободное движение тел становится зависимым лишь от геометрии мира. Эйнштейновский закон тяготения и являет собой зависимость между геометрией мира и движением больших масс: звезд и галактик.

Попробуем подробнее разобраться в том, как свойства пространства и времени определяют движение тел. Тех самых пробных тел, которые обладают интересным и

очень важным для нас свойством испытывать действие гравитационного поля, но ввиду ничтожных размеров не могут как-то заметно его менять.

Обычно для доступного изложения общей теории относительности прибегают к аналогии с неким разумным двухмерным существом. Двухмерность, безусловно, свойство фантастическое, тем более что наш путешественник не должен и потому не может даже чувственно наглядно представить себе направление «вверх». Автор с сожалением констатирует свое бессилие придумать более удачную аналогию, и посему представим себе плоского путешественника, шагающего по плоскому, как фанерный лист, миру. Этот плоский мир, с поверхности которого путешественник выйти не может, будет моделью трехмерного пространства Эвклида.

Если мы придадим плоскому миру известную эластичность, то его можно будет искривлять и растягивать. Весь наш опыт говорит, что двухмерный лист изгибается в трехмерном пространстве, но можно представить себе и кривой лист, вне которого ничего нет. Положим на плоский эластичный лист тяжелый шарик. Вокруг шарика лист прогнется. Двухмерный путешественник этого даже не заметит. Но если мы бросим еще один шарик, то он скатится в углубление к первому. Путешественнику покажется, что шарики притягиваются друг к другу. Это не модель теории тяготения Эйнштейна, а лишь грубая аналогия. В искривленном пространстве кратчайшее расстояние между двумя точками — не прямая линия, а кривая, геодезическая кривая. В плоском пространстве закон инерции заставляет свободное движение быть прямолинейным. В искривленном пространстве тот же закон обуславливает свободное движение по геодезической кривой. Если бы двухмерный путешественник передвигался не по плоскому пространству, а по сферическому, то для него кратчайшим расстоянием между двумя точками явился бы отрезок дуги большого круга. Именно по таким дугам на шаре осуществляется свободное движение частиц. Но путешественник будет считать эти дуги «прямыми». Однако двухмерному существу не нужно выходить за пределы шара, чтобы установить присущую его миру кривизну. Достаточно совершить кругосветное путешествие или, сложив углы треугольника, убедиться, что их сумма превышает 180° , чтобы сделать вывод: свой-

ства мира, в котором он, двухмерный путешественник, живет, в больших областях существенно отличны от его свойств на малых участках.

Кратчайшие линии, подобные прямым, свойственны всякой криволинейной поверхности. На поверхности яйца, например, сумма углов равностороннего треугольника будет наибольшей вблизи острого конца. Шагающий по поверхности яйца двухмерный путешественник сможет узнать, что его «пространство» неоднородно.

Точно так же и мы можем убедиться, является ли наше четырехмерное пространство—время плоским или искривленным. Для этого нужно изучить его внутреннюю геометрию и сравнить ее с постулатами Эвклида или с более общими постулатами Лобачевского—Римана.

Если принять, что в четырехмерном мире тела движутся по кратчайшим расстояниям этого пространства, то тогда обращение планет вокруг Солнца должно подчиняться этому правилу. Но неужели сила тяготения Солнца настолько велика, что так заметно искривляет пространство? Или же Луна, обращающаяся вокруг Земли; неужели она тоже движется в таком искривленном пространстве?

Но такие вопросы не правомерны. Они возникают от непонимания сути вещей. Они логически вытекают из понятия о трехмерном пространстве, тогда как общая теория относительности рассматривает движение в четырехмерном пространстве—времени. Время сочетается с пространством.

Кратчайшая линия в четырехмерном мире гораздо меньше отличается от прямой, чем это кажется в сопоставлении с планетными орбитами. Положение Земли в мире за один оборот вокруг Солнца изменяется во времени на расстояние длиною в год. Чтобы выразить это расстояние в километрах, по законам специальной теории относительности нужно умножить скорость света на число секунд в году. Мы получим число, которое в 31 тысячу раз превысит диаметр земной орбиты. Тогда путь Земли во Вселенной уподобится винтовой линии с огромным отношением шага к радиусу. Такая винтовая будет более близка проведенной через ее концы прямой. Для более отдаленных планет кривизна винтовой линии еще меньше, там мир еще более плоский.

Таким образом, чтобы объяснить тяготение изменением свойств пространства, нужно было ускоренное движение сделать частным случаем криволинейного. Для этого время нужно было сделать одним из измерений пространства, что и было достигнуто в общей теории относительности.

Герман Минковский истолковал эту теорию как слияние обычного пространства и времени в единое четырехмерное сверхпространство, или, как мы уже говорили, пространство — время. В сверхпространстве три измерения x , y , z выражаются действительными числами, а время — мнимым числом, умноженным на скорость света.

Такая ось времени получается, как говорят математики, растянутой. Поэтому релятивистские эффекты заметны лишь при скоростях, соизмеримых со скоростью света. Изменение системы отсчета может быть представлено как вращение ее в четырехмерном пространстве. Скорость света при этом остается неизменной. Обычная длина меняется (релятивистское сокращение), меняется и время (об этом эффекте можно подробно не говорить ибо нет, кажется, ни одного научно-фантастического произведения, которое бы обошло его молчанием). Но так называемый интервал — четырехмерное расстояние — между событиями не изменяется.

Так искривление четырехмерного пространства — времени полностью объясняет все эффекты тяготения. Читатель понял уже различие между специальной теорией относительности и общей. Первая изучает движение тел в плоском пространстве—времени, вторая — в искривленном. Ее можно именовать, как это предложил академик В. А. Фок, теорией тяготения.

Тяготение проявляется в виде воздействия тел на свойства пространства — времени, которые меняют его структуру, искривляют его. Пространство — время — это уже не «абсолютное математическое» пространство, а совершенно конкретное физическое, которое описывается неевклидовой геометрией.

В зависимости от плотности вещества, то есть от величины его массы, геометрия пространства времени может быть близкой к евклидовой, или приближенной к геометрии Лобачевского, или же представлять собой геометрию сферы.

На языке физиков пространство — время, вернее, его физические свойства, выражается сложной математической величиной — фундаментальным метрическим тензором.

Модели Вселенной

Представление об искривленном пространстве глубоким резонансом отозвалось в самых различных областях науки. Оно послужило основой для интересных, но далеко не бесспорных идей о геометрических свойствах Вселенной. Первую попытку распространить теорию относительности на всю Вселенную сделал сам Эйнштейн. Он заинтересовался, насколько интенсивно локальные сгустки вещества искривляют мир.

Для вычислений необходимо было иметь сведения о плотности вещества во Вселенной. Нужно сказать, что и по сей день вопросы, связанные с кривизной пространства, получили теоретическое освещение лишь в самом простом случае, когда плотность вещества во всем пространстве равномерна.

Ньютоновская механика в бесконечном равномерно заполненном веществом пространстве требует возникновения бесконечной силы тяготения. Это бессмысленно. Ньютоновская механика здесь не применима.

Эйнштейн избрал самый простой вариант, он предположил, что материя распределена во Вселенной совершенно равномерно, без всяких пустот и сгущений. Это, на первый взгляд, противоречит всему нашему знанию, накопленному о Вселенной. Наш опыт говорит о том, что Вселенная, напротив, крайне неоднородна. Почти все вещество сосредоточено в звездах, которые отстоят друг от друга на колоссальные расстояния. Межзвездные бездны характеризуются ничтожными плотностями. Они наполнены разреженным космическим газом и пылью. Миллиарды звезд образуют звездные скопления — галактики, которые отделены друг от друга еще большими расстояниями, измеряемыми десятками и сотнями световых лет.

Конечно, все это было известно Эйнштейну. Просто мыслил он в иных, более высоких масштабах. Ведь начиная с каких-то иных, гораздо больших, чем галактики и межгалактическое расстояние объемов, говорить о неоднородном распределении вещества не имеет смысла. Ко-

гда мы берем в руки свинцовый шарик, то мы отнюдь не представляем его себе ажурным, то есть таким, какой он и есть на самом деле. Просто расстояния между электронными оболочками и ядрами, межатомные и молекулярные расстояния настолько малы в масштабах макромира, что мы считаем предмет сплошным.

Точно так же в иных сверхгалактических масштабах Вселенная тоже может выглядеть сплошной, а при еще большем увеличении объемов плотность вещества Вселенной представится совершенно одинаковой.

Это позволило в достаточно больших масштабах считать, что мир обладает постоянной кривизной. Может показаться, что говорить о кривизне мира по меньшей мере странно. С одной стороны, утверждается, что мир безграничен, а с другой — говорится, что он обладает постоянной кривизной, а значит, и радиусом. В противоречии всегда нужно искать новое качество. Для искривленного пространства понятия «бесконечный» и «безграничный» не адекватны. Продолжим аналогию с двухмерным пространством. Если наша эластичная плоскость, вообразим ее еще бесконечно протяженной, должна изгибаться одинаково в каждой точке, это может привести к тому, что она свернется в шар: поверхность шара замкнута. Границ у нее нет, но по величине она конечна. Поверхность шара имеет постоянную положительную кривизну — она везде одинаково выпукла. Такая геометрия и являет собой метрику замкнутого трехмерного пространства, о котором можно сказать, что оно безгранично, но конечно. Возможна и иная, совершенно равноправная геометрия, исходящая из постоянной отрицательной кривизны. Описываемое ею пространство везде имеет седлообразный характер. Это пространство Лобачевского, которое не только бесконечно, но и безгранично.

В 1922 году ленинградский математик Александр Александрович Фридман, исходя из эйнштейновской теории тяготения, построил две совершенно равноправные модели безграничной равномерно заполненной веществом Вселенной. Закрытая модель Фридмана подобна поверхности шара, открытая — седлообразной поверхности постоянной отрицательной кривизны. Спрашивается, как можно бесконечную Вселенную описать двумя различными моделями? Статическую, неподвижную Вселенную, действительно, трудно представить в виде двух мо-

делей. Но динамическую, непрерывно меняющуюся — можно. Фридман доказал, что не может быть и речи о неизыблемости мира. Кривизна пространства все время меняется, так как непрерывно изменяется плотность вещества. Именно от плотности вещества зависит, какая из двух моделей осуществляется в данный временной интервал. Если плотность превышает 10 протонов на кубометр, то пространство замыкается в гиперсферу — сверхшар, в противном случае справедлива открытая модель Вселенной.

Ученым было важно хотя бы приблизительно оценить среднюю плотность вещества в доступной нашему наблюдению части Вселенной, или, как еще говорят, в астрономической Вселенной. Чрезвычайно интересно, что Вселенная как бы уклонилась от попыток человека навязать ей тот или иной облик. Плотность вещества оказалась близкой к граничной величине — 10 протонов в кубометре. Если и во всей Вселенной плотность вещества такая же, а у нас нет основания предполагать обратное, то мы оказываемся не в состоянии решить, замкнута или открыта наша Вселенная.

Может создаться впечатление, что мы вновь попали в теоретический тупик, но все обстоит гораздо... сложнее. Просто основное наше допущение о равномерной плотности является чисто умозрительным и поэтому истинная геометрия Вселенной может быть сколь угодно более сложной.

Самое парадоксальное свойство фридмановских моделей в том, что все расстояния между находящимися в них телами должны изменяться со временем. Пространство пульсирует: либо расширяется, либо сжимается. На закрытой модели это проще себе представить. Ее двухмерная аналогия — футбольная камера. Она может раздуваться и сжиматься. Если на ее поверхности «живут» двухмерные существа, то при раздувании камеры каждому из них покажется, что все остальные от него удаляются, «разбегаются». Это соответствует постоянно уменьшающейся кривизне мира. Вместе с кривизной все меньше становится и плотность вещества Вселенной. Материя рассредоточивается, она как бы разлетается во все стороны. Поговорим об этом подробнее.

Если источник звука перемещается, то высота тона достигающего нас звука отличается от той, которую мы

слышим, если предмет неподвижен. Когда вдали показывается гудящая электричка, то гудок ее кажется нам пронзительным, очень высокого тона. Постепенно, по мере приближения высота тона понижается, и когда, наконец, поезд, промчавшись мимо нас, удалится на значительное расстояние, гудок его будет казаться глухим и низким.

Аналогичное явление наблюдается в спектре излучения, которое идет к нам от движущегося источника. Линии спектра смещаются по сравнению с соответствующими линиями, которые должен давать неподвижный источник. На основании спектрального анализа света, идущего от звезд, можно поэтому заключить, удаляются ли эти светила от нас или приближаются к нам. Более того, можно определить и скорость, с которой происходит движение звезд.

Это явление, связанное с хорошо известным эффектом Доплера, можно объяснить довольно просто. От удаляющегося источника световые колебания приходят к неподвижному наблюдателю реже, а от приближающегося — чаще. В первом случае спектр сдвигается в сторону более длинных волн — «красное смещение», во втором — в сторону более коротких волн — «фиолетовое смещение».

В 1919 году английский ученый Слейфер сделал открытие, которое привело к совершенно новому представлению о Вселенной. Его измерения красных смещений ряда туманностей, которые, как тогда думали, находились в нашей Галактике, показали, что все они удаляются от нас с необычайной скоростью — до 1800 километров в секунду. Американский астроном Хаббл вскоре установил, что эти туманности представляют собой системы звезд, и приступил к измерению их удаленности от нас.

В 1926 году Хаббл не только обнаружил, что эти туманности отстоят от нас на расстояние около 20 миллионов световых лет, но и установил факт увеличения скорости удаления туманностей в зависимости от их расстояния.

Хаббл предсказал, что более удаленные галактики вследствие этого должны давать большую величину красного смещения. Для проверки этого предположения сотрудник Хаббла Хьюмсон приступил к проведению

обширной программы спектрального анализа далеких галактик с помощью 2,5-метрового телескопа обсерватории «Маунт Вильсон». В далеких и тусклых галактиках нельзя было уже различить даже отдельные яркие звезды. Поэтому за меру расстояния приходилось принимать яркость всей галактики. Иначе говоря, принималось, что галактика, яркость которой вчетверо меньше другой, удалена от нас вдвое дальше. Конечно, вполне возможно, что отдельные галактики могли и отклоняться от этого правила, но в целом все множество галактик должно было ему следовать. Этот принцип и по сей день остается основой для определения расстояний.

Первое действительно значительное красное смещение Хьюмасон получил в 1928 году, когда изучил спектр галактики NGC 7619. Хаббл предсказал, что ее скорость должна быть несколько меньше 4 тысяч километров в секунду. Это блестяще подтвердилось. Хьюмасон дал величину 3800.

В 1936 году, максимально используя возможности своего телескопа, американские астрофизики исследовали группу галактик в области Большой Медведицы и установили, что ее скорость равна уже 40 000 километров в секунду.

На всем интервале удалений, превышающих 0,5 миллиарда световых лет, скорость галактик увеличивалась прямо пропорционально их удаленности от нас. В известном смысле это открытие вызвало даже некоторое разочарование, так как космологи ожидали, что при достаточном продвижении в глубь Вселенной будут обнаружены изменения этой зависимости. Для продолжения исследования мироздания приходилось ждать окончания монтажа пятиметрового телескопа на «Маунт Паломар».

В 1951 году программа исследования красного смещения была продолжена с помощью нового высокоскоростного спектрографа. Полученный на фотопластинке нового прибора спектр представляет собой полосу длиной около 5 мм, но и этой длины достаточно, чтобы измерить красное смещение с погрешностью меньшей 0,5%.

Хьюмасон измерил красные смещения дальних групп галактик, скорость удаления которых достигает 65 тысяч километров в секунду. Что же оказалось?

18 наименее ярких групп галактик убегают от нас со скоростью, пропорциональной их удаленности. Зависи-

мость была строго линейной. Однако для наиболее удаленных групп галактик замечаются отклонения от линейного закона. Скорость их удаления (они отстоят от нас примерно на 1 миллиард световых лет) на 10 тысяч километров в секунду превышает ту скорость, которая должна быть в случае соблюдения линейной зависимости.

Некоторые астрофизики сделали отсюда вывод, что Вселенная миллиард лет тому назад расширялась быстрее, чем сейчас. Если измерение и основанные на них выводы верны, то это значит, что мы живем в развивающейся, а не в установившейся Вселенной.

Мы теперь получили возможность судить и о средней плотности материи Вселенной. Скорость замедления расширения зависит от средней плотности материи: чем выше плотность, тем больше величина торможения. По величине отклонения от линейного закона, полученной из измерений, можно вычислить, что средняя плотность равна примерно $3 \cdot 10^{-28}$ г массы на 1 см^3 (около 1 атома водорода на 5 л).

Исходя из этого можно уже всерьез говорить и о геометрии Вселенной, о ее кривизне. Напомним, что мы располагаем тремя основными моделями формы Вселенной: эвклидово прямолинейное, незамкнутое и бесконечное пространство; криволинейное замкнутое и конечное (подобно поверхности сферы) и криволинейное незамкнутое и бесконечное пространство (подобно седлообразной поверхности).

Атом-отец и мир-пузырь

Теперь мы вновь можем возвратиться к рассмотрению вопроса о моделях Фридмана. Напомним попутно, поверхность шара не имеет центра. Поэтому каждое двумерное существо с одинаковым правом может утверждать, что именно оно находится в центре мироздания, а все остальные «разбегаются» от него. Естественно, что для наблюдателя, находящегося в одной из рассмотренных нами галактик, наша Галактика тоже будет казаться убегающей.

Следует ли из теории искривленного пространства конечность мира? Такой вопрос вряд ли правомерен. Как мы видели, закрытая модель — только одна из двух моделей с равномерной плотностью. Если же вообще отка-

заться от произвольной идеи равномерной плотности, то возникают поистине неограниченные возможности для исследования.

Конечность мира не означала бы его ограниченности, а свидетельствовала бы только о невозможности определить бесконечно большое расстояние. И здесь нет никакого противоречия с положениями диалектического материализма, исходящего из того, что мир бесконечен как в пространстве, так и во времени. Тем более что современные космологические данные о средней плотности материи во Вселенной приводят скорее к миру, не ограниченному в пространстве. Но во всех случаях получается, что есть конечный промежуток времени в 10—12 миллиардов лет, когда плотность материи была сколь угодно большой. Говорит ли это о начале мира? Мы ответим на этот вопрос несколько позднее, когда речь пойдет об эволюции звезд.

Пока же скажем несколько слов о тех выводах, которые были сделаны сразу же после открытия расширяющейся Вселенной. Они покажут нам, как далеко можно зайти, неправильно применяя и трактуя абсолютно правильные положения теории и самые объективные результаты эксперимента.

Тридцатые годы были временем самых ожесточенных дискуссий. В спорах ломались теоретические копы. Основная борьба разгоралась вокруг факта расширения Вселенной. Некоторые астрофизики сразу же попытались объяснить красное смещение без идеи разбегающихся галактик. «На пути кванта что-то происходит со светом, и он краснеет», — писал голландец де Ситтер. А что это «что-то»? Высказывались предположения, что, странствуя по бесконечным просторам Вселенной, фотон просто стареет, что и вызывает покраснение света. Возлагались определенные надежды и на межзвездную среду, и на магнитные поля, которые могли оказывать какое-то влияние на свет. Но опять-таки какое? Никаких экспериментальных доказательств «старения» или «усталости» квантов не было. Поэтому мнение, что мир действительно расширяется, довольно скоро стало почти всеобщим. Но почему он расширяется?

Теория расширения Вселенной вновь вызвала к жизни идеи о сотворении мира. Во главе проповедников этой идеи выступили бельгийский аббат Леметр и знаме-

питый английский физик Эддингтон, религиозно-мистические взгляды которого с особой силой проявились к концу его жизни. Рассуждения новых креационистов сначала возражений не вызывали. На основе наблюдаемого расширения Вселенной можно заключить, что она по мере удаления от настоящего времени имела все меньшие размеры. Нам придется остановиться на каком-то моменте, когда «радиус Вселенной» был почти равен нулю. Обратиться в нуль этот радиус, очевидно, не мог, следовательно, необходимо предположить, что данный момент и был моментом начала Вселенной.

Исходя из скорости современного расширения, можно прийти к заключению, что «момент творения» произошел несколько миллиардов лет тому назад. По мнению Леметра, именно тогда взорвался «атом-отец», из которого и образовалась Вселенная со всеми ее звездами, планетами, атомами и элементарными частицами.

«Я полагаю, что большинство из вас, — откровенно писал Эддингтон членам общества квакеров, — ни в какой мере не отвергает научное объяснение творения: возможно, что оно даже лучше прославит Бога, чем традиционное библейское сказание... Я не скажу, что те, кто желает освятить в некотором роде открытия науки, принимая их как новые признаки могущества Бога, не правы. Но их позиция иногда несколько раздражает ученого, поскольку она рассматривается им как желание ограничить его дух свободного исследования лишь определенным способом объяснения».

Позицию Эддингтона полностью поддержал англичанин Миллн, хотя он и являлся сторонником идеи бесконечности мира: «Для сотворения бесконечной Вселенной нужен более великий Бог, чем для сотворения конечной... Мы освобождаем Бога от мелкости...»

Так с совершенно, вроде бы, разных позиций, оба исследователя пришли к совершенно одинаковой и порочной идее.

Нет, казалось бы, надобности в обсуждении взглядов Леметра и Эддингтона. Как патентные бюро во всем мире отказываются рассматривать проекты вечных двигателей, так и мы, атеисты, сразу же можем отбросить теорию, основанную на акте божественного творения. Но о чисто формальной стороне этой теории, о ее логическом и математическом аппарате мы обязаны говорить. Тем

более что рациональное зерно ее вошло в современные представления об эволюции Вселенной.

Математические теории, использованные Леметром и Эддингтоном, никак не приводят к обязательному выводу о том, что расширение Вселенной должно продолжаться вечно или что оно должно происходить после начального состояния покоя. Как было показано в работах де Ситтера, теория Леметра с точки зрения математики является лишь одним из возможных решений проблемы расширения Вселенной. Существуют многие другие решения, которые в равной степени можно обосновать. Согласно одному из них, Вселенная будет все время находиться в состоянии расширения, и она имела несколько миллиардов лет назад минимальные размеры. Однако эта эпоха предшествовала сжатию бесконечно рассеянной среды. В другом решении, не очень оригинальном, которое в отличие от предыдущего, не имеет дело со столь необычным состоянием материи в прошлом, Вселенная колеблется (осциллирует), попеременно расширяясь и сжимаясь. Ее радиус достигал минимума несколько миллиардов лет назад, и с тех пор он непрерывно увеличивается, но это увеличение прекратится после достижения некоторого максимума, после чего Вселенная вновь начнет сжиматься. Циклу, свидетелями которого мы с вами являемся, предшествовало бесконечное число аналогичных циклов.

Оказывается, что у Леметра бог, хотел аббат этого или нет, просто оказался сбоку припека. Знаменитое «начало Вселенной» становится просто моментом начала одного из циклов в развитии мироздания.

В теории осциллирующей Вселенной нет и речи о рождении движения из покоя в момент рождения мира или о выбросе материи во всех направлениях благодаря взрыву «атома-отца». Автор этой теории американский специалист в области термодинамики и теории относительности Толмен (один из создателей первой атомной бомбы) писал: «Мы не имеем права утверждать, что Вселенная была сотворена в некоторый определенный момент прошлого».

Будь Леметр и Эддингтон материалистами, они никогда бы не «вывели» из своих рассуждений бога. Он никак ниоткуда логически не вытекал. Более того, они по всей вероятности, пришли бы к выводу о возможности

поочередного сжатия и расширения Вселенной. Но и это особенно ярко рисует ограниченность стоящей на идеалистических позициях науки, они предпочли обратиться к богу.

Идея осциллирующей Вселенной в прошлом подвергалась острой и зачастую необоснованной критике. В настоящее время число ее сторонников все больше растет. Правда, эта теория, претерпев в процессе развития некоторые изменения, стала несколько иначе трактовать расширение и сжатие Вселенной. Более того, она превратилась в совершенно новую теорию, которая представляет собой лишь возврат к якобы старому.

«Если расширение Вселенной замедляется с определенной скоростью,—остроумно сказал американский астрофизик А. Р. Сэндидж, — как это показывают наши данные, то, очевидно, в конце концов расширение прекратится и начнется сжатие. Если затем материя Вселенной вновь вернется к сверхплотному состоянию и взорвется, то в следующем цикле изменения состояния, примерно через 15 миллиардов лет человечеству вновь, возможно, придется решать эти же самые задачи».

Теорий, объясняющих расширение Вселенной, было создано немало. Возникают такие теории и по сей день. Но чем больше появляется теорий, тем больше накапливается и противоречий.

Естественно поэтому, что появились гипотезы, вобравшие в себя и попытавшиеся объяснить сотни накопленных наукой фактов. Но, к сожалению, творцы некоторых гипотез могут позавидовать объективности даже таких субъективистов, как Леметр или Эддингтон.

Чтобы избежать противоречий, связанных с различным возрастом разных небесных тел, и избавиться от странной картины все более разжижающейся Вселенной, английский астроном Хойл создал модель расширения мира, средняя плотность которого остается все время одной и той же. Хойл вынужден был отказаться от гипотезы конечного и неограниченного пространства, а также от идеи начального момента и возвратился к представлению о бесконечности мира во времени и пространстве.

Таким образом, отправные позиции Хойла были вполне правомерны. Во всяком случае, они не более спорны, чем любые другие.

Но ему понадобилось еще предположить, что материя, покидающая данную область пространства, все время заменяется вновь откуда-то возникающей материей, из которой образуются все новые и новые галактики. Это положение само по себе тоже могло бы оказаться приемлемым, если бы Хойл мог сказать, откуда берется эта вновь возникающая материя.

Но взгляды Хойла на этот счет не оставляют места для сомнений.

«Люди иногда спрашивают, — писал Хойл в 1952 году, — откуда берется материя. Ниоткуда! Материя довольствуется тем, что возникает в готовом виде. В некоторый данный момент различные атомы, составляющие материю, не существуют, а через мгновение они уже существуют. Я должен признаться, что эта идея может показаться странной... Но ведь все представления о творении являются странными.

В прежних теориях предполагали, что в некоторый данный момент возникло целиком все количество материи во Вселенной и весь процесс творения представлялся как гигантский взрыв. Что касается меня, то я нахожу эту идею гораздо более странной, чем идею о непрерывном творении...».

Субъективный характер выбора гипотез в приведенном отрывке виден гораздо яснее, чем во всех трудах Эддингтона.

Скорость «непрерывного творения» у Хойла довольно мала: один атом за год в объеме, равном объему собора Святого Павла в Лондоне. Но и такой невысокой производительности божественной машины вполне достаточно, чтобы «спасти» мир от разжижения вещества, вызываемого разбеганием галактик.

Идея о непрерывном творении водила по бумаге перо не одного лишь Хойла. Крупнейшие ученые нашего времени не устояли перед соблазном пойти по «самому простому» пути: толковать присущие теории странности как свойства природы.

Основываясь на чисто формальных, отвлеченных ображениях относительно каких-то целочисленных соотношений между мировыми постоянными, Паскуал Иордан решил, что материя рождается за счет потенциальной энергии всей Вселенной, сосредоточенной в сверхгигантских звездах.

Англичане Бонди и Голд тоже возлагали большие надежды на энергию мирового пространства. Но прежде чем изложить их точку зрения, мы познакомимся с новыми свойствами физического пространства — времени.

Удивительное население вакуума

Открытие позитрона и взаимных превращений частиц и фотонов явилось величайшим достижением релятивистской квантовой механики электрона и квантовой электродинамики. Но штурм тайн атомного ядра отвлек на целое десятилетие внимание физиков от теории электрона — позитрона, которая привлекалась лишь для рассмотрения ядерных процессов, таких, к примеру, как бета-распад.

Казалось, что квантовая электродинамика зашла в тупик. Этому в большей мере способствовали трудности, с которыми столкнулись физики в теории поля.

Только в 1947 году в квантовой электродинамике наступило известное оживление. Оно было связано с некоторыми электронными эффектами в атоме водорода. По теории Дирака два энергетических уровня в атоме водорода должны были совпадать. Однако молодые сотрудники лаборатории профессора Раби (Колумбийский университет) Лэмб и Ризерфорд с помощью тонких радиоспектроскопических методов установили, что эти энергетические уровни электрона образуют небольшой сдвиг, соответствующий длине волны излучения, равной около 21 см, испускаемого атомами.

Вскоре выяснилось, чем вызван эффект сдвига. Оказалось, что электрон взаимодействует не только с реальным внешним кулоновским полем протона или другими внешними полями, но также и со случайными колебаниями «вакуумного» электромагнитного поля — флуктуациями. О вакууме уже нельзя было говорить как о пустоте. Вакуум действительно представляет собой наименьшее энергетическое состояние системы, среднее электромагнитное поле которой равно нулю. Однако в вакууме постоянно возникают флуктуации, сообщаемые электрону дополнительную кинетическую энергию. Эта дополнительная, взятая из «пустоты» энергия и ослабляет притяжение электрона к протону. Вот почему энергетические уровни оказываются сдвинутыми вверх.

Такое объяснение лэмбовского сдвига явилось по существу открытием своеобразных дополнительных взаимодействий частиц с вакуумом электромагнитного поля.

Нужно сказать, что несколько неуверенное открытие сдвига было сделано еще до второй мировой войны, однако, не получив достаточного теоретического объяснения, оно осталось без внимания.

Казалось бы, такой тонкий эффект, типичный эффект микромира может интересовать лишь довольно узкую категорию специалистов. Но в действительности самые ценные сведения, которые мы получили совсем о другом мире, мире галактик, добыты благодаря уже известному нам радиоизлучению на волне 21 см.

Впервые на это обратил внимание еще в 1944 г. голландский студент Ван де Хулст. Он показал, что атомы распыленного в космосе водорода могут излучать радиоволны длиной около 21 см.

В 1948 году советский астрофизик, известный специалист в области радиоастрономии И. С. Шкловский сумел детально и изящно обосновать идею Хулста и наметить пути ее экспериментальной проверки.

Теоретические предпосылки Шкловского были блестяще подтверждены три года спустя, когда удалось на опыте обнаружить радиоизлучение нейтрального водорода космоса. Исполинские разреженные облака этого водорода обволакивают спиральные ветви нашей Галактики. Он присутствует везде, даже в других звездных системах. Поэтому радионаблюдения на волне 21 см позволили подробно изучить строение галактик, «прощупать» их ядра.

Эти волны всего за несколько лет открыли человеку больше космических тайн, чем лучи видимого света за последние столетия.

Специальные исследования показали, что излучения на волне 21 см чрезвычайно широко распространены во Вселенной. Это дало право американским астрофизикам Коккоонни и Моррисону высказать в 1960 г. гипотезу, что если где-то во Вселенной есть разумные вещества (вряд ли кто теперь сомневается в этом), то они наверняка обратили внимание именно на это отличное от непрерывного спектра радиоизлучения галактики и звезд, поведение космического водорода. Поэтому не исключено, что где-нибудь на планетах, вращающихся вокруг

Тау Кита или Альфа Центавра, сейчас какой-нибудь ученый следит именно за этими волнами.

Вернемся, однако, к свойствам вакуума.

Начало теории вакуума, как уже известно читателю, было положено еще Дираком. Но лишь после открытия лэмбовского сдвига были сделаны надлежащие выводы из оригинальных и смелых представлений Дирака о природе вакуума.

Как не раз уже бывало в истории физики, все формальные математические средства были развиты довольно давно. Не хватало одного лишь звена, чтобы перебросить мост над пропастью Неизвестного. Этим звеном и явилась идея о новых физических свойствах вакуума. Однако утвердиться эта идея смогла лишь благодаря эксперименту, хотя обнаруженный оптическим путем лэмбовский сдвиг мог быть предсказан теоретически еще десятилетием раньше.

Поэтому в теоретической физике прошедших лет делались ошибочные попытки исключить из теории нулевые флуктуации вакуума электромагнитного поля (т. е. фотонов), а также электронно-позитронные поля как ненаблюдаемые и ведущие к бесконечным значениям различных величин.

Способностью искривляться и передавать таким образом поле тяготения отнюдь не исчерпываются физические свойства реального пространства. В физике одинаково важны и силы тяготения, и электромагнитные силы.

Вершиной классической физики явилась теория Максвелла, показавшая, что свет и подобные ему излучения можно рассматривать как электромагнитные волны.

Фарадей и Максвелл ввели в физику понятие поля и показали, что электромагнитные взаимодействия и излучения суть проявление свойств поля.

Совершенно естественным был вопрос: может ли существовать свободное от поля пространство? Классическая физика, рассматривавшая «абсолютные математические» свойства пространства отдельно от физического поля, отвечала на этот вопрос утвердительно: да, может.

Квантовая физика привела к совершенно противоположным представлениям.

Рэлей и Джинс подсчитали число степеней свободы излучения, которое может вместить данный объем пространства. Если объем ограниченный, то задача сводит-

ся к обычному резонатору. Резонатор, как известно, обладает множеством резонансных или собственных частот. В объеме же резонатора каждой собственной частоте соответствует множество различных по форме типов колебаний.

Каждая степень свободы излучения — это определенный тип электромагнитных колебаний, которые в той или иной степени могут возбуждаться.

Чтобы все это стало более понятным, каждый объем пространства можно представить себе наполненным строго определенным количеством колеблющихся систем — осцилляторов. Каждая степень свободы, вернее, каждый тип электромагнитных колебаний можно назвать осциллятором поля.

Каждый резонатор для каждой данной частицы располагает определенным числом осцилляторов поля. Если же пространство неограниченно, то его можно характеризовать плотностью осцилляторов на единицу объема. Эта-то плотность и выводится из формулы Рэлея — Джинса.

Так пространство предстало перед физиками в обличье резервуара электромагнитных волн. Это было невероятно и неожиданно. Это рушило все представления. Всем казалось абсолютной истиной, что волны обязательно испускаются какими-либо конкретными телами. А тут пространство, пустота. И все же оказалось, что пространство наполнено электромагнетизмом.

Если в течение достаточно большого промежутка времени пространство находилось в контакте с какими-нибудь телами, то между ними и пространством должно установиться тепловое равновесие. Каждый осциллятор при этом приобретает дополнительную энергию, которая может передаваться только квантами.

И вот когда квантовая теория окончательно оформилась, выяснилось одно исключительно интересное обстоятельство. Оно заключалось в том, что кроме целого числа квантов, которые могут принимать или отдавать осцилляторы, у них всегда остается половина кванта энергии, которую совершенно невозможно отнять. Это и есть уже знакомая нам по рассказу о лэмбовском сдвиге нулевая энергия.

Даже при температуре абсолютного нуля, когда осцилляторы лишены всяких, казалось бы, энергетических

запасов, они продолжают совершать нулевые колебания. Эти колебания — неотъемлемое свойство вакуума. Осцилляторы — это носители квантов. Каждый осциллятор может взять и отдать любое целое число квантов.

Классическая физика рассматривала вещество активным излучателем, а пространство — пустым и пассивным приемником излучения, в котором оно бесследно исчезает. Квантовая физика смотрит на испускание излучения как на совместную работу частиц вещества и осцилляторов поля.

Квантовая механика сумела объяснить существование стационарных состояний электрона. Но для объяснения испускания излучения возбужденным атомом приходилось учитывать еще и внешнее воздействие. Согласно квантовой теории излучения, это воздействие исходит от осцилляторов поля. Если в окружающей среде присутствуют фотоны, то они могут воздействовать на атом, заставить его испускать излучение. Это будет вынужденное или, как еще говорят, индуцируемое возбуждение, на котором основаны квантовые усилители и генераторы: лазеры и мазеры.

Однако в пустом, совершенно свободном от фотонов пространстве возбужденный атом способен излучать. Это будет уже спонтанное излучение, вызванное взаимодействием с нулевым колебанием вакуума.

Не удивительно, что в математические уравнения квантовой теории излучения плотность фотонов и плотность осцилляторов входят на абсолютно равных правах. Поэтому свободные осцилляторы — это своего рода «резервный фонд» еще не родившихся, но возможных фотонов, кладовая виртуальных квантов.

Частицы-пасынки в физико-юридическом аспекте

Понятие температуры в нашем сознании неотделимо от вещества. Но, ознакомившись с физическим вакуумом, мы можем уже несколько, отойти от таких традиционных, чтобы не сказать догматических представлений. Более того, нам придется примириться даже с такой как будто бы очевидной нелепицей, как температура вакуума.

Кажется, какая может быть температура в вакууме, где нет ни единого реального атома вещества? Но ведь вакуум пронизывают электромагнитные волны. А раз так, то почему бы не распространить власть температуры на фотоны? Конечно, из всех элементарных частиц фотоны — меньше всего частицы. Обычные корпускулы вещества, сталкиваясь друг с другом, быстро обмениваются запасом энергии. В результате энергия быстро распределяется между ними по максвелловской кривой. Иными словами, энергия частиц становится тепловой. Фотоны же очень слабо взаимодействуют между собой, и, в отличие от вещества, излучение может и не иметь определенной температуры.

Если же излучение находится в термодинамическом равновесии с веществом, то оно приобретет и его температуру. Это будет равновесное, или тепловое излучение. Это невидимое инфракрасное излучение испускают все окружающие нас предметы и мы сами, конечно.

Такое излучение во многом напоминает газ. Подобно газу оно давит на окружающие предметы. Давление «фотонного газа» легко измерить. Он вездесущ, этот газ. Звезды ежесекундно изливают его в бездны пространства. Если мы попытаемся, конечно мысленно, экранировать вакуум от фотонного газа, то сейчас же столкнемся с непреодолимыми трудностями. Прежде всего нам придется заключить участок пространства в какой-то непроницаемый для вещества и света объем — пустотелый замкнутый сосуд. Но мы сразу же убедимся, что вещество, из которого этот сосуд изготовлен, испускает тепловое излучение, «засоряя» тем самым нашу идеальную пустоту. Чтобы избежать этого непрошенного излучения, нам нужно охладить сосуд до абсолютного нуля. Но согласно третьему закону термодинамики, это невозможно. Недаром ведь собственно физическим вакуумом называют пространство, заполненное равновесным тепловым излучением. И не только им одним. Как мы знаем, физический вакуум пронизывает не только фотонный газ, но и кванты других полей. Но мы вновь вернулись к вакууму не ради него самого. Он нужен нам для аналогии.

Кроме известных нам частиц, получивших все права гражданства, существуют, если не в реальном мире, то в научной терминологии, так называемые квазичастицы. Их роль почетна, а участь горька. Это их, а не нейтрино,

следовало бы именовать частицами-призраками. И чем шире распространяется формальный аппарат квантовой теории на самые различные явления, тем больше появляется «незаконнорожденных» частиц, которым отказано в гражданских правах. Впрочем, можно сказать и совсем иначе. Эти частицы пользуются всеми правами гражданства, несмотря на то, что не существуют.

Познакомимся для начала с «частицей» звука. Ничего необычного в этом словосочетании нет. Распространение звука — процесс волновой, и мы имеем право воспользоваться математическим аппаратом квантовой теории. Энергия звука тоже излучается отдельными порциями. Но квантовую природу звука удастся установить лишь в условиях самых низких температур, когда вещество обладает минимумом запаса энергии. Квант звукового поля получил название фонон.

Интересно, что стоячие звуковые волны ведут себя в кристаллических телах, как газ, точнее, как фотонный газ в вакууме. Только у световых квантов частота неограниченна, а для фононов существует максимальный частотный предел. Фононы не могут нести сколь угодно большую энергию. Их энергия — это тепловая энергия твердого тела. Мы можем это утверждать, закрыв глаза на то, что тело состоит не из фононов, а из молекул и атомов. Теория нам позволяет так поступить. За это отступление от реальности она платит нам отличными уравнениями, с помощью которых можно вычислить очень важные свойства реальных тел.

Такой подход — не прихоть теоретика, а железная необходимость. Не заменив атомы фононами, мы не сможем разобраться в тепловой свистопляске частиц в кристалле. В кристалле как бы в одно и то же время мирно сосуществуют и атомы, и фононы. Сам кристалл состоит из упорядоченно расположенных атомов, а фононное поле являет собой лишь суммарный результат коллективных взаимодействий между ними. Конечно, такое сосуществование далеко не равноправно. Фононы без атомов немислимы, тогда как атомы великолепно обойдутся без звуковых квантов.

В интересной и остроумной статье о квазичастицах профессор Д. А. Франк-Каменецкий попытался с помощью шутильной аналогии решить спор между полноправными частицами и их призраками. «Быть может, раз-

ница между частицей и квазичастицей примерно такая, как между физическим и юридическим лицом. Общество состоит из людей — юристы называют их физическими лицами. Но в общественных отношениях часто выступают организации, учреждения, фирмы — это юридические лица. Нельзя сказать, что юридическое лицо — это просто коллектив людей, что оно состоит из физических лиц. Нет, оно замещает их, выполняет их функции, играет их роль. И часто гораздо проще разобраться в юридическом казусе, если забыть о живых людях и мыслить только в терминах юридических лиц (пусть это и не всегда похвально). Подобно этому квазичастицы оказываются как бы заместителями «настоящих» частиц, играют их роль. Это верно, если частицы действительно «элементарны», если они — первичные кирпичи мироздания. Но ведь квантовая физика позволяет нам считать все частицы квантами физических полей. Если в основе всего лежат поля, то нам остается только сказать, что частицы — кванты вакуумных полей, а квазичастицы — кванты внутренних полей вещества, которое само состоит из частиц.»

Но продолжим сопоставления с газом и теплотой. Если в газе каждая частица обладает тем или иным запасом энергии, то в кристалле проявляет себя присущая микромиру неопределенность. Кристалл — это ансамбль частиц, в котором происходит непрерывное перераспределение тепловой энергии. Эта энергия разделена не между отдельными частицами, а между коллективными движениями. И не только она одна. Примерно то же происходит и с энергией электронного возбуждения, которая свободно мигрирует по всему кристаллу, как жидкость без вязкости в песке. Это блуждающее возбуждение тоже можно проквантовать. Я. И. Френкель назвал такой квант возбуждения экситоном. Сочетание экситона с вызванным им искажением кристаллической решетки тоже можно представить в виде квазичастицы, которую С. И. Пекар назвал поляроном.

Квазичастицы помогли разрешить проблемы первоочередной важности. С их помощью удалось построить теории самых загадочных процессов. Достаточно сказать, что уникальные свойства квантовой жидкости — гелия II удалось объяснить на основе газа из звуковых фононов и вихревых ротонов. Такая теория была разра-

ботана Л. Д. Ландау и отмечена Нобелевской медалью.

Даже волны в плазме и те могут быть описаны с помощью вездесущих квазичастиц — всевозможных плазмонов и геликонов. А академик А. Б. Мигдал недавно показал, что многие свойства атомного ядра могут быть объяснены, если рассматривать ядро в качестве газа квазичастиц.

О квазичастицах можно было бы говорить неопределенно долго. Но нам достаточно знать, что такие существуют на свете и обладают несколько расплывчатым «юридическим лицом». Более подробно стоит, пожалуй, познакомиться с другими «сомнительными» частицами. Их положение еще более неопределенно. Ничто не мешает им существовать, но их никто никогда не наблюдал. Теория ничего против них не имеет, но экспериментаторам не удастся даже напасть на их след. Для объективности добавим еще, что некоторые теоретики считают, что и природа, и теория прекрасно обойдутся без этих «сомнительных» частиц.

Гравитация грез и действительности

Идея Юкавы, что все силы возникают в результате обмена промежуточными частицами, привела к предсказанию еще одной новой частицы — гравитона. Тяготение является силой дальнодействующей. Подобно электрической силе, радиус действия гравитации простирается в бесконечность. Поэтому и частицы, обмен которыми обеспечивает взаимное притяжение тел, не должны обладать массой покоя. Физикам знакомы многие свойства гравитонов, хотя эти частицы никем и никогда экспериментально не наблюдались. Пока они столь же реальны, как мезоны Юкавы до открытия пионов, или нейтрино Паули до опыта Рейенса и Коуэна, и вопрос о существовании квантов гравитационного поля остается открытым.

Для нас важно, что гравитон должен обладать нулевой массой и, следовательно, распространяться со скоростью света. Ведь отсутствие массы эквивалентно отсутствию инерции, сопротивления, оказываемого телом ускорению. Поэтому-то частицы, лишенные массы, вынуждены двигаться с наивысшей из возможных в природе скоростей, т. е. со скоростью распространения света.

Интересно отметить при этом одно привычное заблуждение. Оно коренится в термине более узком, чем описываемое этим термином явление. Максимальная скорость в природе отнюдь не связана непосредственно со светом. Это скорость любого безынерционного тела. Просто так уже сложилось исторически, что первой безынерционной субстанцией, изученной человеком, стал именно свет. А на самом деле мы можем с таким же успехом говорить о скоростях распространения гравитации или нейтрино как о предельно возможных.

Физика сороковых-пятидесятих годов уделяла мало внимания проблемам гравитации. Частицы сыпались тогда, как из рога изобилия. Но интерес к тяготению начал заметно усиливаться в последние годы. Международные конференции по тяготению, состоявшиеся в 1957 г. в США и 1959 г. в Париже, служат этому достаточным подтверждением.

Как известно, наука о тяготении «родилась» вместе с законом Исаака Ньютона. Современное человечество уже успело свыкнуться с тем, что всякие два тела притягиваются друг к другу с силой, пропорциональной их массам и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними.

Правда, на вопрос, почему это так, не могли ответить ни сам Ньютон, ни те, кто жил после него. Двести с лишним лет физикам пришлось довольствоваться законом Ньютона, пока Альберт Эйнштейн не создал общую теорию относительности или, как ее часто называют, теорию тяготения, теорию искривленного пространства. Математически теорию искривленных пространств разработали русский математик Н. И. Лобачевский, венгр Больяи и немецкий математик Риман.

Лобачевский был уверен, что реальное пространство должно быть хоть чуть-чуть искривлено. Но тогдашняя астрономия не располагала возможностями для такой проверки — только через сто лет была доказана справедливость предвидения великого математика.

Во время солнечного затмения можно фотографировать звезды, кажущееся положение которых на небе близко к Солнцу. Ученые решили проверить, как идет свет от этих звезд. Если кажущееся положение звезды меняется, то, следовательно, луч света притягивается к Солнцу и движется в искривленном пространстве. Такое

отклонение луча и было зафиксировано. Оно составляло величину около 2 угловых секунд. Это ничтожное искривление блестяще подтвердило теорию. Спустя несколько лет искривление пространства было подтверждено и наблюдением за красным смещением спектров сверхплотных звезд. Смещение в сторону длинных волн объясняется мощным гравитационным полем этих небесных тел, один кубический сантиметр которых весит многие десятки тонн.

До последнего времени гравитация не учитывалась при создании теории атомов и их ядер. Однако не исключено, что для объяснения структуры элементарных частиц придется привлечь гравитационные силы.

Современная физика требует пересмотра и детализации различных сторон классической теории тяготения Эйнштейна. Предпринимаются попытки установить отдельные элементы гравитационного поля или, говоря иначе, квантовать это поле, найти связи его с другими формами материи.

Еще Эйнштейн обнаружил, что слабые гравитационные поля распространяются в виде волн, притом со скоростью света. А это значит, что они могут нести какую-то энергию. Какая-то часть излучения должна при этом теряться.

Если массу, испускающую гравитационные волны, представить себе в виде некоего гравитационного заряда, то гравитационные волны можно подвергнуть квантованию. Тогда, подобно фотонам электромагнитного и мезонам ядерного полей, должны быть кванты гравитационного поля — гравитоны. Теория предсказывает значение спинов гравитонов, равное 2.

Итак, у нас есть ультраслабое взаимодействие — гравитационное. Теперь мы можем объяснить и закон Ньютона. Гравитационное притяжение осуществляется путем обмена гравитонами, может быть, аналогично обмену квантами в электромагнитном и ядерном полях. В этом случае, согласно квантовой механике, гравитоны должны превращаться в фотоны и другие частицы, и обратно: при аннигиляции частиц и античастиц вместе с фотонами и мезонами будут образовываться также гравитоны.

Эти теоретические представления отстаивает известный советский физик Д. Д. Иваненко. Однако да-

леко не все физики согласны «допустить» гравитоны в микромир.

Но последнее слово, как всегда, остается за экспериментом.

Возникает вопрос: как будет проявлять себя гравитация в мире из античастиц, т. е. не будет ли там гравитация антигравитацией?

Эмилио Сегре в октябре 1957 г. на Международном конгрессе по элементарным частицам (Падуа) так прямо и спросил: «Не будут ли антипротоны подниматься вверх, а не падать вниз?»

Косвенный ответ на этот вопрос дает давний опыт с отклонением световых лучей во время солнечного затмения. Ведь световой квант является одновременно частицей и античастицей. Раз на него действует сила тяжести, значит, она не отличает частицы от античастицы. Согласно теории тяготения Эйнштейна, в гравитационном отношении частицы и античастицы должны вести себя одинаково.

Попробуем провести параллель между гравитацией и электричеством. Мы знаем множество макропроявлений электричества. В таких явлениях, как мощные разряды молний, передача энергии по проводам или, допустим, телевидение, роль квантовых свойств крайне ничтожна. В микромире же квантовые свойства выступают на передний план. Достаточно вспомнить, что именно электрические силы определяют устойчивость атома. Диапазон власти фотона необычайно широк. Гравитация же проявляется лишь в макромире. И это не удивительно. Как уже говорилось, гравитационные силы чрезвычайно слабы, они слабее самых слабых взаимодействий. Гравитационное притяжение между электроном и протоном на сорок порядков меньше электрического!

Но, вырвавшись из микромира на галактические просторы, слабейшая из слабейших становится главнейшей из главных. Первыми отказываются от единоборства с гравитацией сильное и слабое взаимодействия. Власть их очень ограничена, и на расстояниях свыше 10^{-13} см она сходит на нет. Электричество, правда, подобно гравитации претендует на дальное действие. И хотя электрические силы ослабевают пропорционально квадрату расстояния, это ни в какое сравнение не идет с почти мгновенным исчезновением внутриядерных сил. Поэтому

электричество в принципе могло бы победить гравитацию на космическом поле боя. Но планеты и звезды в целом электрически нейтральны. Так на передний план выходит гравитация, знаменитый закон всемирного тяготения.

Впрочем, старая ньютоновская теория скорее должна рассматриваться как «гравистатика». Подобно тому как в электростатике рассматриваются лишь покоящиеся заряды и постоянное электрическое поле, гравистатика имела дело с неким неизменным полем тяготения.

Изначально волновавший физику вопрос о том, возможна ли мгновенная передача взаимодействия, уже давно решен. Запрет на скорость, превышающую 300 000 километров в секунду, введенный Эйнштейном, распространяется и на гравитацию. Мы знаем в то же время, что тяготение является проявлением искривленного пространства. Изменение кривизны от точки к точке можно уподобить волновому процессу. Это и будут гравитационные волны, предсказанные Эйнштейном и все еще остающиеся гипотетическими. Попытаемся провести параллель между гравитационными волнами и радиоволнами.

Электромагнитные волны тоже сначала были предсказаны теоретически в середине шестидесятых годов прошлого века. Но прошло почти двадцать лет, прежде чем Герц впервые получил эти предсказанные Максвеллом волны в своей лаборатории. После этого нужны были уже годы, чтобы А. С. Попов, а затем и Маркони осуществили первые передачи по беспроволочному телеграфу. Это классическая и достаточно типичная схема. В общем виде она сводится к трем пунктам: теоретическое предсказание — экспериментальное подтверждение — выход в практику. Гравитационные волны пока еще пребывают в первой начальной точке этой магической цепи. Однако реальное существование их у многих крупных теоретиков не вызывает сомнений.

Что же стоит на пути экспериментального обнаружения этих волн? Об этом уже упоминалось. Речь идет о чрезвычайно слабом сигнале, обусловленном малой величиной гравитационной константы.

Впрочем, энергия волн увеличивается с ростом массы колеблющегося тела и частоты колебаний. Но двойные звезды, к примеру, характеризующиеся колоссальной массой, имеют ничтожную частоту колебаний, а элемен-

тарные частицы наряду с высокими частотами обладают ничтожной массой. Получается замкнутый круг. Какой бы объект мы ни взяли в качестве генератора волн тяготения, наши гипотетические приборы все равно не смогут зарегистрировать столь слабый эффект.

Возьмем для примера планету-гигант Юпитер. Расчеты показывают, что при вращении вокруг Солнца он должен создавать гравитационные излучения мощностью всего в 450 ватт! Это примерно мощность применяемой фотоаппаратами лампы-перекалки.

Тем не менее ученые все же надеются решить проблему искусственной генерации и регистрации поля тяготения. Для этого прежде всего нужно заставить тело колебаться с такой быстротой, чтобы энергия испускаемых им гравитационных волн оказалась соизмеримой с чувствительностью регистрирующих приборов.

Формула теории относительности, определяющая интенсивность гравитационных волн, как будто бы выглядит в этом смысле весьма оптимистично. Ведь в нее входит частота колебаний в шестой степени! Это значит, что если мы увеличим частоту волн всего на один порядок, то их интенсивность возрастет в миллион раз! Но расчеты, сделанные еще в сороковых годах Эддингтоном для волн, испускаемых вращающимся стержнем, развеяли все оптимистические надежды. Стержень длиной в один метр может дать мощность излучения порядка 10^{-30} эрг в секунду. И увеличить эту исчезающе малую величину не представляется возможным. Скорость вращения нельзя увеличивать сколь угодно. Ведь вместе с ней растут центробежные и центростремительные силы, которые, достигнув известного предела, разрушат стержень. Прочность материала кладет предел увеличению скорости вращения, а следовательно, и мощности гравитационного излучения.

В последние годы мы стали свидетелями величайших достижений технической физики, радиоэлектроники, автоматики. Сегодня удастся с помощью квантовых усилителей обнаружить такие сигналы, которые еще несколько лет назад казались безнадежно слабыми. Все это, естественно, вновь возродило надежды поймать, наконец, гравитационные волны.

Американский ученый Джон Вебер произвел первый инженерный расчет гравитационного генератора и де-

тектора, в котором использован пьезоэлектрический кристалл.

Падающие на кристалл гравитационные волны должны вызывать в нем некоторую деформацию, что в свою очередь должно привести к возникновению электрической поляризации. А получившуюся разность потенциалов можно будет обнаружить с помощью обычных, конечно, чувствительнейших электрических приборов.

Тот же кристалл можно использовать и как генератор гравитационных волн. Для этого надо привести его в колебание с помощью высокочастотного электрического поля. Впрочем, здесь тоже придется считаться с тем, что при слишком большой относительной амплитуде колебаний кристалл просто разрушится.

Подсчеты показали, что пьезокристалл объемом в 50 кубических метров мог бы излучить гравитационные волны мощностью всего лишь около 10^{-13} эрг в секунду. А уловить с помощью такого детектора можно было бы мощность порядка 10^{-3} эрг в секунду. В расчетах Вебера передатчик оказался недостаточно мощным, чтобы его излучение поддавалось регистрации современными приборами. Но это не смутило изобретателя. Вебер и его сотрудники надеются уловить гравитационные волны от Солнца или из каких-либо областей межзвездного пространства.

Московские физики В. Б. Брагинский и Г. И. Рукман предложили взять две группы одинаковых, параллельно ориентированных пьезокристаллов цилиндрической формы. Каждый кристалл должен представлять собой тонкую пластинку из титаната бария сечением в 1 квадратный метр. В каждой группе предлагается поместить 20 000 подобных кристаллов. Эти группы надо расположить поблизости, но строго изолировать друг от друга. Ни электромагнитные, ни акустические волны не должны проходить через изоляцию.

Теперь, заставляя обе группы колебаться одновременно — так, чтобы фазы колебаний совпадали, мы установим между ними чисто гравитационную связь, ибо никакой изоляцией не остановить слабое, но всепроникающее гравитационное взаимодействие. И при совпадении фаз колебаний пластин (синфазное возбуждение), согласно законам резонанса, которые управляют также аналогичными электрическими волнами, мощность гравитационно-

го излучения системы будет не в два раза больше, чем в одной из групп, а в четыре раза. Если же вызвать колебания в двух группах кристаллов так, чтобы их фазы колебаний в каждой группе не совпадали, а были противоположны одна другой (антифазное возбуждение), то по тем же законам гравитационное излучение вовсе исчезнет.

При совпадении фаз для сохранения прежней амплитуды колебаний кристаллы должны будут получить добавочную порцию электрической мощности — ведь какая-то, пусть очень небольшая, ее часть уйдет на возбуждение гравитационных волн. И эту-то дополнительную мощность Брагинский и Рукман предложили измерить. Конкретный расчет показал, что при частоте 10^6 герц и затрате мощности порядка миллиона ватт придется измерить крайне слабый сигнал: всего навсего порядка 10^{-25} ватта.

Обратим теперь внимание на то, что наша планета должна не только излучать гравитационные волны, но и воспринимать их из пространства, то есть может играть роль гравеоантенны. А раз так, приходящие извне волны способны оказывать какое-то влияние на «внутреннюю жизнь» Земли.

Поль Дирак высказал не так давно заманчивую догадку, что астрономические аномалии во вращении Земли, например неравномерное вращение вокруг оси, вызывающее изменения продолжительности суток, могут быть вызваны не чем иным, как воздействием падающих на планету импульсов гравитационных волн. Тщательное изучение колебаний земного шара рано или поздно позволит «рассортировать» их, отделить те колебания, которые вызваны именно гравитационными волнами, и, исследовав их, определить мощность этих волн.

И еще одно соображение.

До сих пор мы все время подчеркивали ничтожность мощности гравитационных волн. Даже системы двойных звезд излучают их крайне мало. Но не надо забывать, что волны эти могли излучаться многие миллиарды лет. Любое колебание, практически любое вращение беспрерывно вызывали такое излучение. И благодаря этому общее количество его постепенно увеличивалось. По всей вероятности, в нашей Вселенной должно мало-помалу накопиться довольно много гравитационных волн. К то-



му же они могут быть излучены в особенно больших количествах при взрывах сверхновых звезд и при других астрономических катаклизмах типа рождения и столкновения галактик и звезд.

Американский ученый Дж. Уилер считает, что плотность энергии (или эквивалентной ей массы) гравитационных волн во Вселенной составляет в среднем приблизительно 10^{-30} грамма на каждый кубический сантиметр пространства.

Ничтожно малая величина? Конечно. Но она примерно равняется плотности энергии (или соответствующей ей массы) всей обычной видимой материи в виде звезд, планет космической пыли и т. п.

В связи с этим интересно обратить внимание на то, что совсем недавно советские физики Б. М. Понтекорво и Я. А. Смородинский в Дубне, а также В. М. Харитонов в Ереване сумели оценить плотность во Вселенной упоминавшихся выше нейтральных частиц — нейтрино. Они пришли к удивительным выводам. Эти крайне трудноулавливаемые частицы, весьма слабо реагирующие с веществом и способные беспрепятственно проходить сквозь толщи океанов и всей Земли, по-видимому, накопились за миллионы веков в громадном количестве. Их плотность тоже примерно равна плотности всей видимой материи (чтобы пояснить этот факт, напомним, что при термоядерных реакциях, идущих на Солнце, около десяти процентов энергии испускается в виде неуловимых нейтрино, которые, таким образом, выбрасываются во Вселенную вместе со светом).

Все эти подсчеты, пока, правда, не претендующие на большую точность, по всей видимости, приводят к заключению, что в нашей Вселенной общая энергия всех обычных видов материи составляет примерно лишь одну треть или половину общих запасов энергии. Остальная их часть приходится на долю нейтрино и, возможно, гравитационных волн.

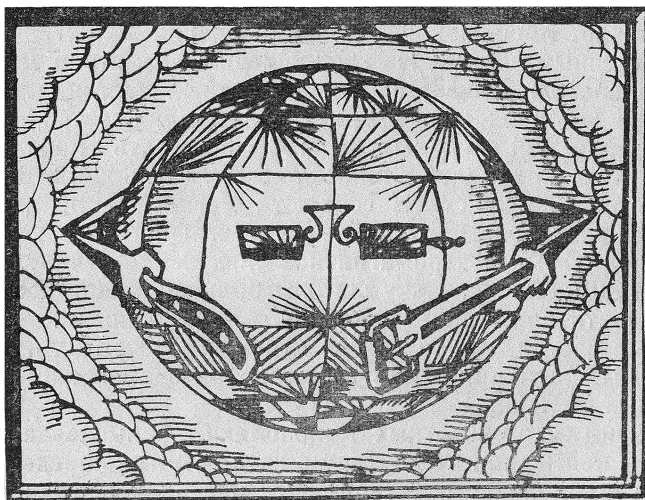
В 1959 году Дирак выдвинул смелую гипотезу о том, что гравитон, возможно, состоит из пары нейтрино. Кажется, что некоторые факты подтверждают это, в частности величина спина гравитона. Дирак нашел, что спин гравитона равен 2. А у нейтрино спин равен 1. Отсюда огромное искушение рассматривать гравитон как результат объединения двух нейтрино. Это положение находит

подтверждение в необычайной проникающей способности нейтрино.

Уже говорилось, что гравитация представляет собой силу в 10^{40} раз более слабую, чем электрическая. Дирак искал, какой физической величине соответствует это отношение, и оказалось, что возраст Вселенной, выраженный в «ядерных единицах времени», совпадает с этой величиной. Время, затраченное светом на прохождение сквозь нуклон по его диаметру, равно 10^{-23} секунды. Это и есть единица ядерного времени. Измеренный в этих единицах возраст Вселенной равен 10^{40} . Не правда ли, удивительное совпадение — отношение электрической силы к гравитационной может быть измерено... возрастом Вселенной?

Учитывая, что электрическая активность по мере старения Вселенной не изменяется, Дирак приходит к выводу, что гравитация уменьшается с возрастом Вселенной.

В самом деле, величина отношения электрической силы к гравитационной, равная возрасту «нашего» участка Вселенной, все время увеличивается, а числитель дроби остается постоянным, следовательно, знаменатель, то есть гравитационная сила, должен убывать со временем.



Если это так, то со временем Вселенная должна расширяться.

Ослабление гравитации должно приводить и к расширению Земли. Хотя это окончательно не доказано, физики пришли к выводу, что радиус Земли увеличивается в год примерно на 0,5 мм.

В наше время наука развивается небывалыми темпами, и кто знает, возможно, что скоро эта гипотеза найдет строгое научное подтверждение.

Квант-компас

Примерно 30 лет тому назад Дирак высказал предположение о том, что в природе может существовать элементарная частица магнетизма, точно так же, как существуют элементарные носители электричества (электрон и протон). Эта магнитная частица имела бы «магнитный заряд», и поскольку этот заряд может быть либо «северным», либо «южным», то предполагаемые частицы получили название монополей.

Существование магнитного монополя внесло бы в теорию электричества и магнетизма симметрию, которая отсутствует в современной картине этих явлений. С точки зрения теоретической физики наших дней магнетизм является побочным продуктом электричества: магнетизм возникает лишь как результат движения электрически заряженных частиц. Из соображений симметрии можно предполагать существование магнитных частиц, являющихся источником магнитных полей, причем при своем движении они должны были бы вызывать появление электрических полей точно так же, как движущиеся электрические частицы создают магнитные поля. Подобно электронам, магнитные частицы испускали и поглощали бы электромагнитное излучение (например, свет). Далее, поскольку фотоны больших энергий могут создавать пары противоположно заряженных электрических частиц, таких, как электрон и позитрон, то такие фотоны могут приводить также к образованию пары магнитных монополей.

Гипотеза о магнитных монополях была высказана Дираком примерно в то же время, когда им было предсказано существование позитрона. Эта идея дала толчок многим исследованиям как в теоретической, так и в экспери-

ментальной физике. Однако никому из исследователей не удалось продвинуться в решении проблемы. Экспериментаторы не обнаружили никаких следов монополей. С другой стороны, теоретики не могли выдвинуть никаких убедительных соображений относительно того, почему такие частицы не могли бы существовать. Возможно, некоторым все это покажется недостаточным для того, чтобы вызвать интерес к гипотетической частице, но на самом деле здесь есть чему удивляться. Дело в том, что для природы характерна следующая закономерность: если не существует законов, запрещающих какое-либо событие или явление, то они должны проявить себя с определенной вероятностью. Более кратко и четко это можно выразить словами: все, что может происходить, происходит. Поэтому до тех пор, пока физики не откроют закона, запрещающего существование монополей, они склонны предполагать, что такие частицы существуют. При этом открытие закона запрета было бы столь же большим научным достижением, как и открытие самих монополей.

Проблема асимметрии электричества и магнетизма существует в физике почти столетие. Она возникла после объединения Максвеллом магнетизма и электричества в единую теорию электромагнетизма. Его теория представляет собой величайшее научное достижение XIX века. Но тот факт, что как электрические, так и магнитные явления вытекают из существования одних лишь только электрических зарядов, кажется очень удивительным. И с тех пор как в 1862 году Максвелл необычайно красиво сформулировал уравнения электромагнетизма, отсутствие в уравнениях магнитного заряда кажется чем-то неестественным.

Фактически система уравнений Максвелла как бы припасла в себе место для магнитных монополей. В одном из уравнений правая часть равняется плотности электрического заряда, в другом уравнении справа стоит ток движущихся электрических зарядов. В остальных же двух уравнениях правая часть равна нулю. Чтобы придать всем четырем уравнениям недостающую им симметрию, следовало бы в одном из уравнений поставить справа вместо нуля плотность магнитного заряда, а в другом — ток движущихся магнитных зарядов. Короче говоря, эти нули в правой части двух уравнений являются

свободными местами, «приготовленными» для монополей. И никаких других новых уравнений не требуется для описания монополей; если они существуют, то их поведение полностью определяется уже готовыми уравнениями Максвелла.

Потребность в монополях кажется еще более очевидной, если уравнения Максвелла записать на языке теории относительности. В этом случае имеется только два уравнения: одно, содержащее источник электрического характера, и другое, в котором правая часть равна нулю, и, следовательно, могла бы быть заменена источником магнитного типа.

Проведенное Дираком математическое исследование привело к очень интересному результату. Оказалось, что если бы монополю существовал, то его магнитный заряд должен был бы быть квантован так же, как и электрический заряд. Дираку удалось также вычислить квант магнитного заряда монополя. Рассматривая взаимодействие монополя с электрически заряженной частицей, он пришел к выводу, что произведение магнитного заряда монополя и электрического заряда частицы должно численно равняться некоторой величине, определяемой универсальными постоянными, такими, как постоянная Планка и скорость света. В «естественных единицах», часто используемых физиками, наименьшее значение указанного произведения (за исключением нуля) равно одной второй.

И так как в этих же единицах наименьшее значение электрического заряда равно единице, деленной на корень квадратный из 137, то наименьший магнитный заряд, переносимый монополем, должен равняться половине корня квадратного из 137. Другими словами, квант магнитного заряда монополя в 68,5 раза больше, чем квант электрического заряда. Следовательно, два монополя действуют друг на друга с силой $68,5 \times 68,5 = 4692$ раз большей, чем сила, с которой взаимодействуют две электрически заряженные частицы, находящиеся на таком же расстоянии друг от друга. Этот теоретический результат имеет большое значение, поскольку он является единственным в своем роде предсказанием в физике: до сих пор еще никому не удавалось предсказать величину взаимодействия между элементарными частицами. Магнитный заряд монополя, теоретически вычис-

ленный Дираком, является единственной характеристикой гипотетической частицы, которая получается прямым расчетом. Однако даже с помощью одной только этой величины мы можем сделать ряд интересных выводов о других возможных свойствах монополя и о его поведении. Так, например, оказывается, что монополю тяжелее всех ранее открытых элементарных частиц. Действительно, эксперименты по отысканию монополей показывают, что масса монополя, если он вообще существует, должна быть по крайней мере в три раза больше массы протона. Следует заметить, что нет никаких причин говорить о монополе в единственном числе. Если монополю существует, то есть все основания предполагать, что имеется множество различных видов монополей, точно так же как в случае электрически заряженных частиц, т. е. некоторые монополи могут быть тяжелее, другие — легче, некоторые участвуют в ядерных взаимодействиях, а иные — нет, некоторые имеют спин, а у других он отсутствует.

Допустим, что монополи действительно существуют. Как же они рождаются, как живут и как умирают? И где можно их отыскать?

Рассматривая процессы их возникновения и уничтожения, мы всегда должны иметь в виду одно важное обстоятельство, а именно: они должны подчиняться закону сохранения их магнитного заряда. Это означает, что однажды возникнув, монополю не может исчезнуть до тех пор, пока он не повстречается с монополем, магнитный заряд которого имеет противоположный знак. (Монополи должны наблюдаться крайне редко, и поэтому такие встречи между ними были бы еще более редким явлением). При встрече друг с другом северный и южный монополи аннигилировали бы, но их суммарный магнитный заряд до и после столкновения оставался бы равным нулю. Из этого же закона сохранения следует, что монополи могут возникать лишь парами: северный монополю с южным монополем. При этом суммарный магнитный заряд после их столкновения остается по-прежнему равным нулю. Как мы видим, магнитный заряд монополя сохраняется так же, как при рождении электронно-позитронной пары сохраняется суммарный нулевой электрический заряд.

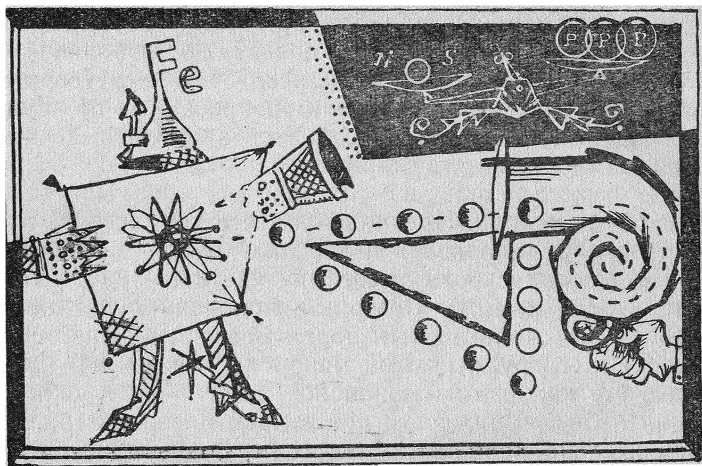
Если монополи существуют, то естественно предположить, что они образуются аналогично парам электри-

чески заряженных частиц, т. е. в результате сильных столкновений между другими частицами. Таким столкновением, в частности, могло бы быть взаимодействие между протонами очень больших энергий, достаточных для создания массы двух монополей. Протоны таких энергий могут быть в принципе получены с помощью современных ускорителей. Другим, более предпочтительным источником монополей являются космические лучи больших энергий, как первичные (в основном, протоны), так и вторичные (главным образом фотоны, образующиеся в результате столкновения первичных частиц с атомами воздуха). И те и другие обладают зачастую такой большой энергией, что при столкновении с ядерными частицами они могли бы создавать пары монополей даже в том случае, если масса последних была в сотни раз больше массы протона.

Кроме того, монополи и сами по себе могли бы прилетать на Землю из окружающего пространства. Возможно даже, что они присутствуют в космических лучах в качестве очень редкой компоненты или входят в состав метеоритов. Обе эти возможности недавно изучались Гото в Японии.

Прежде всего он заметил, что монополи, попадающие на Землю с космическими лучами, должны были бы обладать феноменально большой энергией. Из-за своего большого заряда такие монополи необычайно эффективно ускорялись бы магнитным полем — гораздо эффективнее, например, чем протоны. В космическом вакууме и на огромных космических расстояниях даже слабые магнитные поля межзвездного пространства ускоряли бы монополи до средней энергии примерно 100 миллиардов электронвольт. Обладая такой энергией, монополи пролетали бы сквозь атмосферу и проникали далеко в глубь Земли.

По тем же самым соображениям монополи, если мы только смогли бы их создавать, оказались бы идеальными частицами для лабораторных ускорителей. Вычисления показывают, что магнитное поле в 10 000 гаусс (легко достижимое в современных лабораториях) могло бы увеличивать энергию монополя на 200 миллионов электронвольт на каждый сантиметр пути. Такой ускоритель монополей длиной всего в два метра превосходил бы по достижимой энергии самые мощные из существующих



ускорителей, длина которых по окружности достигает почти километра. Кроме того, для экспериментов достаточно небольшого количества монополей, так как их можно было бы извлекать из мишеней и использовать снова и снова. Таким образом, ускоритель монополей мог бы в принципе работать неограниченно долго, используя одно и то же начальное количество ускоряемых частиц.

Что касается монополей из метеоритов, то, как отметил Гото, они вполне могли бы возникнуть в них под действием космических лучей. При этом пары монополей могут разлетаться друг от друга, и если они окажутся разделенными в железном метеорите хотя бы на тысячную долю сантиметра, то затем уже не смогут взаимодействовать друг с другом и аннигилировать. Однажды возникнув в метеорите или будучи им захвачены, монополи остались бы в нем навсегда. Их будут удерживать в метеорите силы, аналогичные тем, которые удерживают электроны в металле. Причем из-за большого значения магнитного заряда монополей их энергия связи в железе была бы в сотни раз больше энергии связи электронов.

В настоящее время считается, что железные и каменные метеориты путешествуют в солнечной системе на протяжении сотен миллионов лет. В течение столь боль-

шого срока непрерывная бомбардировка космическими лучами могла бы привести к появлению монополей во многих из них. Следовательно, некоторые из метеоритов, покоящихся ныне в музеях или разбросанных по земной поверхности, могут содержать в себе магнитные частицы, ожидающие своего открытия.

Гото указал также еще на одно место, где могут быть найдены монополи. Предположим, что космические лучи создали пару монополей в верхних слоях атмосферы. При движении сквозь атмосферу частицы будут замедлять свое движение. Северный монополь будет отклоняться слабым магнитным полем Земли (меньше одного гаусса) к северу, а южный монополь — к югу. В конечном счете каждый из монополей, следуя вдоль силовых линий поля Земли, достигнет земной поверхности, имея сравнительно небольшую скорость. Если случится так, что монополь при приземлении попадет в кусок железной руды, то он окажется захваченным значительным магнитным полем. Таким образом, расположенные на поверхности железные руды могут служить объектом поисков монополей.

Но если монополи и существуют, то как можно было бы извлекать их из тех материалов, в которых они могут находиться? Мы могли бы сделать это двумя способами: либо путем наложения мощного магнитного поля, либо разрушая магнетизм материалов, удерживающих монополи (метеоритов, например), посредством нагревания или химическим воздействием. Согласно оценкам, для извлечения монополя из чистого железа потребовалось бы магнитное поле примерно в 60 000 гаусс, которое может быть получено с помощью специальных магнитов. Для извлечения монополей из железной руды и других не столь активных в магнитном отношении материалов потребовалось бы соответственно более слабое магнитное поле.

Обнаружение и идентификация монополя не вызывали бы затруднений. Ввиду быстрой потери энергии при прохождении через вещество монополь оставлял бы в ядерной фотоэмульсии настолько толстый след, что его невозможно было бы спутать со следом любой другой элементарной частицы. В пузырьковой камере и в камере Вильсона монополь обнаруживал бы себя характерным поведением в приложенном магнитном поле, поскольку

его поведение отличалось бы от поведения электрически заряженных частиц.

Согласно одной из гипотез, при прохождении сквозь воздух монополю может собирать вокруг себя «гроздь» молекул кислорода и образовывать слабо связанную «магнитную молекулу». Такое образование увлекалось бы затем магнитным полем Земли до тех пор, пока оно не достигало бы ее поверхности. В случае приземления на кусок железа монополю был бы вырван из кислородной «грозди» и захвачен этим куском в результате действия тех же мощных сил, которые удерживают его в железе.

Не исключено также, что монополю может проникать в атомы, вступать в тесный контакт с атомными ядрами. Если это так, то монополи оказались бы связанными с ядрами очень сильно, настолько сильно, что удалить их оттуда было бы столь же трудно, как отнять у ребенка его любимую игрушку: это невозможно сделать без того, чтобы не проташить его волоком вслед за ней.

Недавно, в 1962 году, были предприняты две попытки обнаружить монополи с помощью ускорителей на 30 Бэв в Брукхейвене и в Женеве.

В Брукхейвене мишень представляла собой тонкую металлическую пластинку (алюминиевую, например), которая бомбардировалась протонами больших энергий. В результате такой бомбардировки образуется несколько разлетающихся в разные стороны частиц, среди которых имеются пи-мезоны, антипротоны и много других частиц. Среди этих осколков экспериментаторы и надеялись обнаружить монополи. Для того чтобы задержать монополи, они поставили на пути разлетающихся частиц контейнер с техническим маслом толщиной 25 сантиметров. По расчетам этого было достаточно, чтобы задержать любой монополю, создаваемый используемым пучком протонов. Для извлечения монополей из жидкости (если бы они там оказались) и для направления их к детектору использовался электромагнит (соленоид). На опыте применялись детекторы двух типов. Один из них — сцинтилляционный детектор: трубка, наполненная жидким ксеноном, которая испускает слабые световые вспышки при прохождении через нее частиц. В этом случае монополи можно обнаружить по тому, что они производили бы более интенсивные сцинтилляции, чем ка-

кие-либо электрически заряженные частицы. Другой детектор, который использовался в отдельной серии опытов, представлял собой ядерную эмульсию. В этом случае монополи можно было бы обнаружить по их необычайно толстым следам.

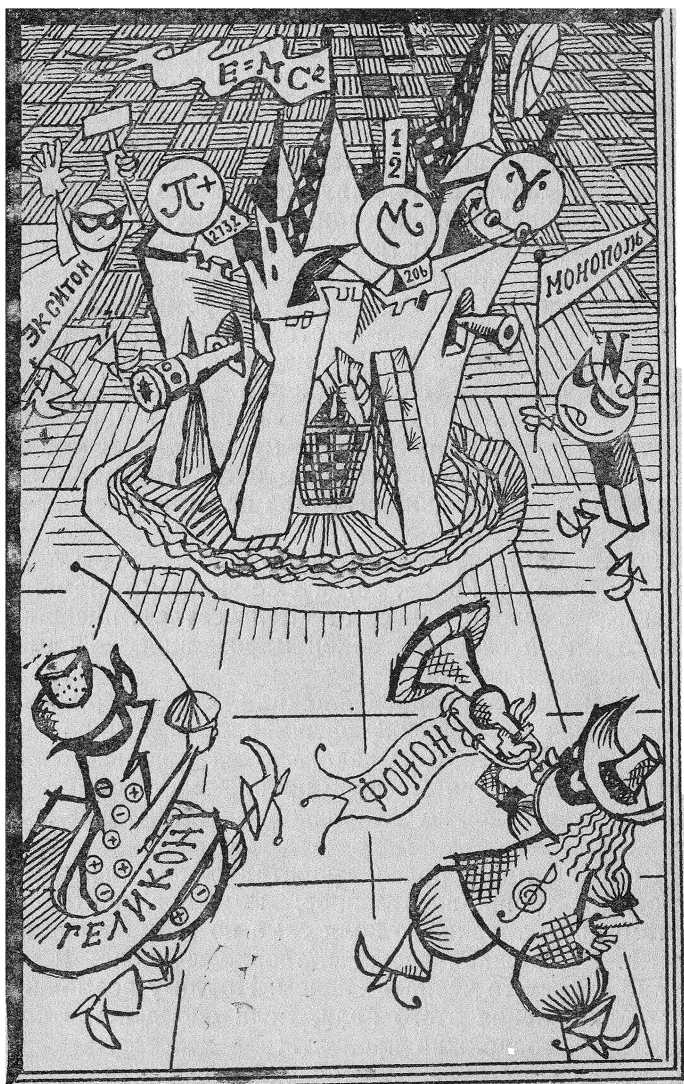
В Брукхейвенском эксперименте на мишень было послано в общей сложности около шести миллионов миллиардов протонов больших энергий. И ни одного монополя не было обнаружено. (При этом протоны, конечно, не пропали напрасно: одновременно с поисками монополей проводились опыты с другими частицами, образующимися в результате бомбардировки мишени.) Аналогичные эксперименты на ускорителе в ЦЕРНе также не обнаружили никаких следов монополей. Используемые в обоих экспериментах энергии были достаточными для создания монополей с массой вплоть до трех протонных масс. Таким образом, результаты этих опытов позволяют сказать, что монополей с меньшими массами, по-видимому, не существует. Если они вообще и существуют, то должны быть более массивными.

Недавно Гото, Колм и Форд пытались отыскать монополи среди продуктов космических лучей. Они использовали метеориты и железную руду, подвергнутую действию космических лучей. В опытах с железной рудой применялся небольшой, но очень мощный магнит с соответствующим оборудованием, который позволял получать короткие импульсы с напряженностью магнитного поля около 60 000 гаусс. Этого было достаточно, чтобы извлечь любой монополь, захваченный на поверхности руды. Оборудование предусматривало ускорение извлеченных из руды монополей до энергии более чем миллиард электронвольт. Монополи в железной руде не удалось найти. Не удалось отыскать их и в метеоритах, несмотря на то, что метеоритные образцы Гарвардского музея подверглись воздействию поля в 100 000 гаусс.

Отсутствие магнитных частиц является физическим парадоксом, который будет удивлять физиков до тех пор, пока они не найдут ему объяснения.

Творящая пустота

Вооруженные новыми представлениями о природе вакуума, мы теперь можем оценить попытку американских физиков Бонди и Голда спасти расширяющуюся Вселен-



ную от разжижения вещества. Модель Бонди—Голда свободна от всех парадоксов, связанных с расширением, бесконечностью и вечностью. Но, по выражению советского космолога Г. И. Наана, достоинство модели оплачено дорогой ценой. Здесь «Сатана изгоняется с помощью Вельзевула». Идея Бонди и Голда не нова и в принципе мы о ней уже знаем. Это все то же самопроизвольное творение вещества из ничего.

Подобно Хойлу и Иордану, авторы без каких бы то ни было оснований приписали пространству одно свойство: каждый метр пространства в среднем один раз за миллиард лет должен рождать один только атом водорода. Требование, конечно, весьма скромное. Во всем объеме Земли за все века ее существования таким способом могла родиться лишь одна десятиллионная доля грамма водорода. Но мизерность — это не оправдание. Ведь от факта рождения из ничего никуда не уйдешь. А Бонди не оставляет места для сомнений: «Нужно отчетливо понимать, что рассматриваемое творение есть формирование вещества не из излучения, а из «ничего».

Гораздо более красиво и естественно стала выглядеть гипотеза Бонди и Голда, когда уже знакомый нам Хойл и Мак-Крей освободили ее от «Вельзевула», ниспровергавшего самый основной закон мироздания — принцип несотворимости вещества.

Хойл и Мак-Крей предположили, что материя, компенсирующая разжижение расширявшегося мира, рождается не из ничего, а из какого-то материального «творящего поля». Творящее поле пронизывает всю Вселенную, оно вездесуще, но очень слабо и поэтому еще не обнаружено.

Мы знаем много полей: гравитационное, электромагнитное, электронно-позитронное, мезонное, нейтринное. Поэтому идея творящего поля сама по себе вполне приемлема. Но, рождая частицы, творящее поле и само должно откуда-то черпать запасы. Поэтому возможны и пути обнаружения этого поля. Если оно действительно существует, то должно проявиться в некоторых эффектах, связанных с красным смещением спектров разбегающихся галактик. Видимо, в недалеком будущем гипотеза Хойла — Мак-Крея сможет быть проверена на эксперименте. Однако уже можно сказать, что эта гипоте-

за никак не противоречит нашим представлениям о природе вакуума, то есть представлениям о природе четырехмерного пространства — времени.

Попробуем подвести некоторые итоги, сделать хотя бы самые общие выводы. Мы знаем, что всякому квантовому полю соответствует определенный вид полевых частиц, а всякому виду элементарных частиц отвечает квантовое поле взаимодействия. В пустом пространстве, где нет реальных частиц, присутствуют виртуальные частицы-осцилляторы, совершающие нулевые колебания. Наличие осцилляторов — неотъемлемое и объективное свойство пространства, а число различных видов осцилляторов такое же, как число различных частиц. Поэтому потенциально запасы частиц, которые «спасают» расширяющуюся Вселенную от разжижения, существуют. Правда, эти частицы виртуальные, но уже ясно, что мы стоим на правильном пути.

Фотон и пион, являющиеся собственными античастицами, мы можем рассматривать как частный случай частиц, имеющих античастицы. Поэтому, как правило, процессу испускания отвечает возникновение не одной частицы, а пары частица — античастица. Реальное пространство — физический вакуум — предстает перед нами в виде совокупности всех физических полей и неисчерпаемого резервуара всех без исключения частиц и античастиц.

К этому следует добавить, что виртуальные частицы, наполняющие пространство, могут стать реальными, если как-то суметь сообщить им достаточно большой запас энергии. Это объясняется тем, что по теории Дирака собственная энергия этих частиц, как мы уже знаем, меньше нуля. Это частицы с отрицательной энергией.

Все рассмотренные нами античастицы представляют собой дырки в пустоте. Обнаружение антипротона или антинейтрона — это «выбивание» дырок мощными энергетическими ударами.

И если мы говорили о рождении античастиц совсем с иных, более формальных позиций, без достаточного анализа дираковских представлений о вакууме, то делалось это лишь из удобства. Точно так же поступают и физики, которые избегают говорить о структуре вакуума исключительно ради простоты математических выкладок.

Вот, собственно, те идеи, которые позволили физике избавиться от дальнего действия и объяснить взаимодействия не как свойства тел, а как свойства физического вакуума и поля, то есть свойства самого пространства.

Но здесь опять возник известный дуализм. Гравитацию мы объясняем геометрическими свойствами пространства, а электромагнитные и все остальные поля — квантовыми, чисто физическими свойствами. Поэтому некоторые теоретики делают попытки (мы о них расскажем) преодолеть этот дуализм. Здесь могут быть только два пути: либо искать квант гравитационного поля, о чем только что шла речь, либо построить геометрию всех полей. Пока ни один из этих путей не привел к успеху.

Впрочем, нет ничего страшного и в том, что поле тяготения связано с геометрией пространства, а все остальные поля — с квантовыми свойствами физического вакуума. Нужно лишь научиться рассчитывать явления, в которых одновременно проявляются и геометрия, и физика пространства. Примером такого проявления может служить хотя бы эволюция звезд.

Еще в тридцатые годы Л. Д. Ландау и индийский физик С. Чандрасекар показали, что лишенное внутренних источников энергии небесное тело, обладающее массой, превышающей определенный предел, должно неограниченно сжиматься. А чем кончится такое сжатие? Ведь неограниченное сжатие прежде всего приведет к тому, что сила тяжести и ядерные силы возрастут до пределов, которые трудно даже себе представить.

Кроме того, у нас нет никакой уверенности, что в этих условиях физический вакуум останется абсолютно устойчивым. При высоких плотностях энергии виртуальные частицы могут сделаться совершенно реальными. А если их образуется достаточно много, то выигрыш в энергии тяготения и энергии ядерных сил может превысить затраты энергии «порождения» частиц. Что будет тогда?

Здесь нам придется вторгнуться уже в область фантазии. Поэтому прежде всего вооружимся некоторыми знаниями об эволюции звезд. И если, говоря о нейтронах или гиперонах, мы имели в виду отдельные частицы, то теперь нам придется познакомиться с тем новым качеством, которое несут в себе неисчислимые массы этих частиц, сосредоточенные в нейтронных и гиперонных звездах.

5 ЧАСТЬ

МЕГАМИР

Звезды смотрят вниз

Ночь за ночью, век за веком совершают свой неуклонный ход бесчисленные звезды. Люди рождаются и умирают, исчезают цивилизации, им на смену приходят другие, но каждую ночь на небосклоне появляются все те же звезды.

Мироздание проявило себя в звездах и строгим и неисчерпаемым. Кажется, нет пределов разнообразию далеких светил, но человек сумел найти границы возможного, которые не переступает даже природа.

Есть звезды в тысячи раз большие, чем наше Солнце. Диаметр звезды Эпсилон В из созвездия Возничего в 2700 раз превышает поперечник нашего светила, однако масса этой величайшей из известных нам звезд лишь в 25 раз превышает солнечную. Средняя плотность вещества этой звезды в миллиарды раз меньше плотности нашей атмосферы. Этот гигант нельзя разглядеть даже в самый сильный телескоп. Это в основном инфракрасная звезда, излучающая невидимые для нашего глаза лучи. Есть звезды, поперечник которых втрое меньше земного, они скорее могут равняться с Луной. Но Луна — холодный, безжизненный мир, а звезда, например, известная по каталогу Вольфа под номером 457, почти в два раза горячее Солнца и представляет собой газовый шар в миллионы раз более плотный, чем сталь. Есть звезды светимостью в сотни тысяч Солнц, такие, как Дзета Скорпиона, которая видна нам не очень ярким светилом третьей величины. А звезда «Лаланд 212558В», замени она наше Солнце, давала бы лишь 0,000031 его света.

Есть системы из двух солнц — двойные звезды. В созвездии Цефея, например, есть двойная звезда, обозначаемая символом VV. Одна из звезд — холодный гигант, другая похожа на наше Солнце. В созвездии Эридана есть тройная звезда, в созвездии Лиры — система из че-

тырех солнц, а несколько левее и выше созвездия Ориона — система из шести солнц.

Наша Солнечная система находится внутри гигантского скопления, состоящего из звезд различных типов, звездных скоплений и ассоциаций, газовых и пылевых туманностей. Эти, казалось бы, совершенно разнородные и хаотически разбросанные элементы динамически связаны в единую систему — Галактику. В Галактике приблизительно 10^{11} звезд, ее полная масса оценивается в $2,6 \cdot 10^{44}$ г, что в 10^{11} раз превышает массу Солнца. Масса газовой материи составляет около 2% массы Галактики, межзвездная пыль имеет еще меньшую массу.

Галактика имеет спиральную структуру. Наиболее яркие звезды сосредоточены главным образом в сплюснутном «диске», в который как бы вкраплены спиральные ветви. Основная часть массы Галактики распределяется в объеме, имеющем форму эллипсоида, который называется галос. Диаметр Галактики составляет примерно 30 тысяч парсек. Световому лучу для того, чтобы пересечь Галактику, понадобится 100 000 лет. Галактика подобно исполинскому звездному колесу вращается вокруг оси, проходящей через центральное ядро.

Природа на примере звезд продемонстрировала нам всю многогранность удивительного единства и стройности и разноречивости. Солнце — довольно заурядная звезда, каких в Галактике миллиарды. Вместе с тем Солнце — совершенно особенная уникальная звезда. То же можно сказать и о любой другой звезде. Нельзя найти двух звезд, спектры которых были бы совершенно одинаковы. В то же время звездные спектры располагаются в первом приближении в одну последовательность, которую подразделяют на классы, обозначаемые буквами О, В, А, F, G, K, М. Каждый класс разбивают на десять подклассов, например F5, G8 и т. д.

Различия спектров звезд обусловлены в первую очередь температурами их поверхностей. Самые горячие звезды спектрального класса О имеют температуру до 40 тысяч градусов, а самые холодные класса М — тысячу градусов. Солнце, температура поверхности которого составляет 6 тысяч градусов, относится к спектральному классу G. Температура звезды обуславливает и ее свет. Наиболее горячие звезды — голубые. За ними следуют белые, желтоватые и красные.

Излучение некоторых звезд (они называются переменными) подвергается колебаниям. Переменные звезды делятся на два больших класса: пульсирующие и эруптивные.

Пульсирующие звезды периодически сжимаются и расширяются. В соответствии с этими периодами меняются и физические условия в их недрах. Когда звезда сжимается, она становится горячее и блеск ее усиливается. Расширение звезды вызывает понижение температуры и ослабление светимости. Одни пульсирующие звезды характеризуются определенным циклом пульсации (правильные переменные), у других периодичность выражена недостаточно четко (полуправильные), третьи сжимаются и расширяются совершенно беспорядочно (неправильные переменные). Все пульсирующие звезды принадлежат к классам белых, желтых и красных гигантов, причем у белых и желтых звезд периоды пульсации более постоянны и коротки, чем у красных.

Белые и желтые гиганты и звезды светимостью в 100—4000 солнц (сверхгиганты), периоды пульсации которых колеблются от 86 мин до 60 суток, получили название цефеид. Короткопериодические цефеиды с периодом пульсации до одних суток называются звездами типа Лиры.

Из неправильных переменных звезд, которые называют еще и нестационарными, наиболее интересны звезды низкой светимости, такие, как Тау Тельца. Звезды этого типа характеризуются и быстрыми, и медленными изменениями блеска. Есть и такие звезды, у которых наблюдается чередование периодов и быстрых, и медленных изменений блеска. Мексиканский астроном Аро открыл «вспыхивающие» переменные звезды. Обычно характеризующиеся минимальным блеском, эти звезды внезапно вспыхивают. В течение каких-нибудь минут светимость «вспыхивающей» звезды увеличивается в десятки раз и вновь падает до минимума.

Мы не ставили задачу подробного описания звезд различных классов. Но, говоря о свойствах пространства, о судьбах галактик и превращениях вещества, мы не можем не говорить о них. Ученые ищут у звезд ответа на «вечные» вопросы человечества: что есть мироздание, было ли начало мира, конечна или бесконечна Вселенная во времени.

Невооруженные глаза наших древних предков различали 5—6 тысяч звезд. Число звезд в сегодняшних обзорах превышает уже 10^{20} . Это сто тысяч миллионов миллиардов! Американский астроном Х. Шепли дал интересную пропорцию:

$$\frac{\text{звезда}}{\text{человек}} = \frac{\text{человек}}{\text{атом}}.$$

Человек примерно в столько же раз больше атома водорода, во сколько раз Солнце больше человека. Человек как бы является средним геометрическим между звездами и атомами. По обе стороны от нас неисчерпаемая бесконечность. Мы не можем познать эволюцию звезд, не штурмуя атомное ядро. Нам не может быть ясна роль элементарных частиц во Вселенной без знания эволюции звезд. Вот почему мы прервали рассказ о геометрии и физике пространства, чтобы сказать несколько слов об эволюции звезд.

Белые карлики в толпе солнц

Около ста лет тому назад известный астроном и математик Бессель навел свой телескоп на самую яркую звезду неба — Сириус. Каково же было удивление Бесселя, когда он обнаружил, что, двигаясь по небу, Сириус испытывает периодическое отклонение от прямолинейного пути, обычного для большинства звезд. Своеобразное движение Сириуса нашло простое объяснение: Сириус имеет невидимого спутника, «возмущающего его движение». Как мы уже знаем, двойные системы во Вселенной — частое явление. По оценке Дж. Койпера, по крайней мере 80% звезд Галактики образуют в пространстве группы — двойные, тройные и более сложные системы.

Предположение о существовании спутника Сириуса подтвердилось. Астрономы обнаружили вблизи ожидаемого места очень тусклую звезду, светимостью в сотые доли Солнца. По степени влияния новой звезды на движение Сириуса определили и ее массу. Вот тут-то обнаружилось явление, взволновавшее астрономов тех лет. Масса спутника (его называли Сириус В) оказалась почти такой же, как и у Солнца.

Почему же тогда так различна светимость у близких по массе звезд? Малую светимость Сириуса В можно

было объяснить двояко: либо малы его размеры, либо невысока температура. Наиболее простым было предположение о невысокой температуре. И Сириус В был причислен к холодным звездам. Астрономы потеряли к нему всякий интерес: заурядная холодная звезда.

Шли годы. Астрономы научились исследовать спектры звездного излучения, его цветовой состав. По цвету ученые могли уже судить и о температуре на поверхности звезды, как судят кузнецы о нагретости железа, которое, разогреваясь, меняет свой цвет от темно-вишневого до бело-голубого.

К великому удивлению астрономов оказалось, что Сириус В не только не холодная, но, напротив, очень горячая звезда, принадлежащая к классу белых звезд с температурой на поверхности порядка 8000 градусов.

Пришлось объяснить малую светимость загадочного спутника его небольшими размерами. Исследования показали, что диаметр этой звезды равен 40 000 км, т. е. всего в три раза больше земного. Зато плотность Сириуса В в 1000 раз больше плотности Земли и составляет 60 килограммов на кубический сантиметр! Ни с чем хотя бы отдаленно похожим человек никогда не встречался — плотность самого тяжелого вещества на Земле не превышает 23 граммов на кубический сантиметр.

Вывод о чудовищной плотности Сириуса В не является чисто умозрительным. Речь идет уже о знакомом нам «красном смещении». Сдвиг к красному концу спектра здесь вызван уже не удалением объекта, а гравитационными эффектами. Преодолевая колоссальное притяжение звезды, фотоны теряют часть своей энергии, вследствие чего снижается и частота световых колебаний.

Звезды типа Сириуса В с аномально малыми светимостями (обусловленными их малыми размерами) и огромными плотностями получили название, которое очень точно отражает их сущность, — белые карлики. В настоящее время открыто уже более 60 таких звезд, но надо думать, что в Галактике их гораздо больше. Правда, не все белые карлики действительно «белы». Есть более холодные «желтые» белые карлики, «красные» белые карлики и, возможно, даже «черные» белые карлики, невидимые в оптические телескопы.

Каковы же силы, сжимающие вещество до такой плотности, и в каком состоянии оно находится? Прежде

чем ответить на этот вопрос, познакомимся с системой звезд в целом и уточним, какое место занимают в ней белые карлики.

Между основными характеристиками звезд существуют связывающие их соотношения. В 1905 году голландский астрофизик Э. Герцшпрунг доказал, что красные звезды разделяются на две группы: большой и малой светимости. В 1913 году Г. Рессел сопоставил светимости звезд с их спектральными классами. Полученные результаты он изобразил в виде диаграммы, которая с течением времени постоянно уточнялась. На диаграмме Герцшпрунга — Рессела в ее современном виде каждой звезде соответствует точка, абсциссой которой является температура (спектральный тип), а ординатой — светимость.

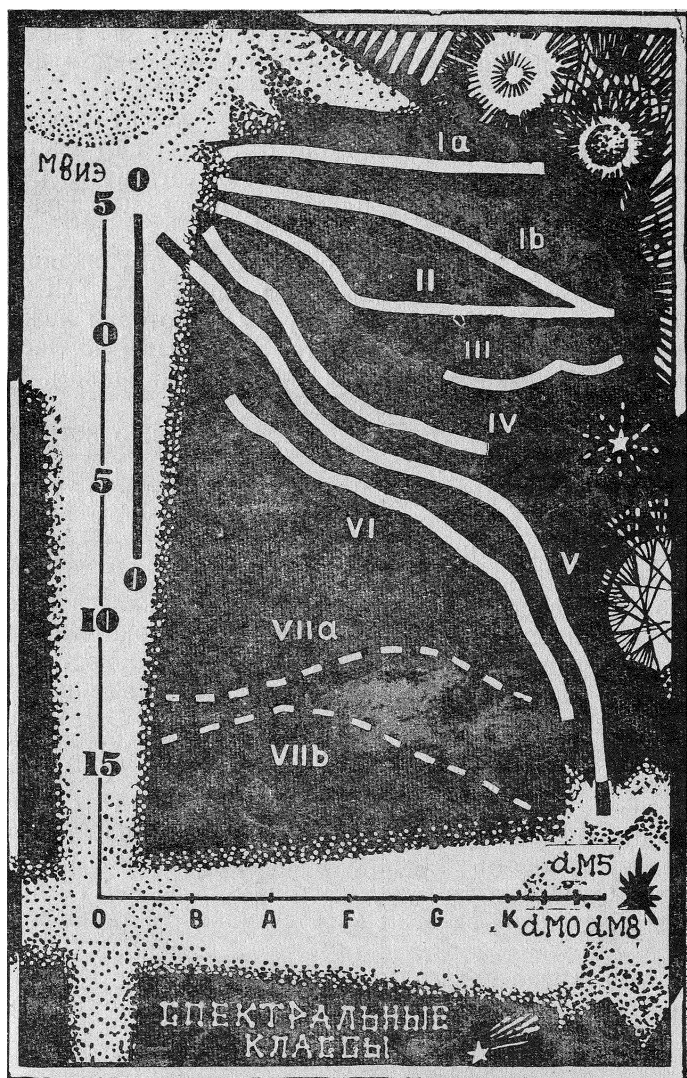
Точки — звезды на диаграмме — располагаются в большинстве случаев длинными узкими полосами, образуя ряд последовательностей.

Наиболее заполненной оказалась полоса, пересекающая диаграмму почти по диагонали. Это «главная последовательность» (V). Голубые, наиболее горячие звезды, обладающие огромными светимостями, размерами и масштабами, располагаются в верхней левой части диаграммы. За голубыми гигантами следуют белые, желтые (в том числе и наше Солнце) и, наконец, слабые и сравнительно небольшие по размерам и массам — красные звезды, расположенные в нижней правой части главной последовательности.

Самые яркие звезды главной последовательности превосходят светимость Солнца в 10 000 раз, самые слабые — карлики — в сотни тысяч раз слабее Солнца. Температура поверхности некоторых голубых звезд достигает 50 тысяч градусов, а у красных карликов она не превосходит 3 тысяч градусов. Вдоль главной последовательности массы звезд уменьшаются от 40 до 1,1 массы Солнца, а радиусы — от 20 до 0,1 солнечного радиуса.

Направо, вверх от главной последовательности лежат ветви сверхгигантов (Ia, Ib), а также желтых гигантов (II, III). Светимость этих звезд колоссальна. Они в тысячи раз превосходят Солнце по радиусу.

Но массы их лишь в несколько раз превосходят массу нашего светила. У гигантов и сверхгигантов плотности



очень малы. Так, Антарес, который в 280 раз превосходит Солнце по радиусу и в 30 раз по массе, характеризуется плотностью, равной $0,0000016 \text{ г/см}^3$. Это в тысячу раз меньше... плотности воздуха при атмосферном давлении!

Над главной последовательностью лежит полоса звезд, температура которых мало отличается от светил главной последовательности (IV). Это субгиганты. Они несколько больше и менее плотны, чем звезды главной последовательности.

Субкарлики, впервые открытые американцем Дж. Койпером и членом-корреспондентом АН СССР П. П. Паренаго, образуют группу (VI), которая лежит ниже главной последовательности. Эти звезды по массе и радиусам близки к обычным красным карликам, но превосходят их своей светимостью.

В левом нижнем углу находятся звезды, о которых шла речь (VIIa, VIIb).

Их температура достаточно высока («белые»), тогда как светимость, а следовательно, и радиус малы («карлики»). Белые карлики отнюдь не редкость. Они образуют отдельный ярко выраженный звездный класс.

Наконец, слева от звезд спектрального класса О до белых карликов диаграмма заполнена высокотемпературными звездами бело-голубой последовательности, открытой в 1947 году Б. А. Воронцовым-Вельяминовым (вертикальная линия О—О). Попутно отметим, что кроме диаграммы спектр — светимость астрономы часто пользуются диаграммой масса — светимость. Оказывается, светимость звезд увеличивается с ростом их масс. Это соотношение хорошо выполняется для звезд главной последовательности. Однако к белым карликам, субкарликам, к некоторым другим типам звезд оно не применимо. Вероятно, за этим кроется какая-то тайна природы.

Рассматривая диаграмму Герцшпрунга — Рессела, естественно, задаешься вопросом: с чем связано наличие пустых промежутков, разделяющих звездные классы? Почему диаграмма не заполнена равномерно, ведь можно было ожидать постепенного изменения свойств при переходе от класса к классу? На современном уровне знаний мы можем лишь констатировать факт, что попавшая в промежуток между классами звезда является не-

устойчивой. Она довольно быстро претерпевает изменения свойств и перепрыгивает в один из ближайших классов.

Ослепительная гостья

Особенно интересны для астрофизиков и космологов новые и сверхновые звезды. Это самые яркие примеры неустойчивости. Вот отрывок из китайской летописи:

«В первый год периода Чи-Хо, в пятую луну, в день Чи-Чу появилась звезда — гостья к юго-востоку от звезды Тиен-Куан... Она была видна днем, лучи света исходили от нее во все стороны, и цвет ее был красновато-белый. Так была она видна двадцать три дня».

Эта запись была сделана в 1054 году, когда два безымянных астронома — китайский и японский — зафиксировали в своих рукописях необычайное явление природы: взрыв сверхновой звезды.

Когда слабая звезда вдруг резко увеличивает свой блеск и спустя короткое время затухает, «сбрасывая» свою оболочку, которая постепенно расширяется в окружающее пространство, астрономы говорят, что вспыхнула Новая звезда. Такая вспышка может повторяться много раз подряд.

О Сверхновой говорят уже не «вспыхнула», а «взорвалась». Именно такой взрыв наблюдали китайские астрономы в XI веке. Древние астрономы очень точно отметили положение внезапно вспыхнувшей звезды среди других звезд. И теперь, спустя более девятисот лет, в созвездии Тельца, там, где когда-то появилось таинственное светило, можно различить в телескоп маленькую звездочку девятой звездной величины. Может быть, астрономы и не уделили бы ей большого внимания, если бы эта скромная звездочка не находилась в самом центре Крабовидной туманности. Эта туманность расширяется во все стороны от звезды. Даже по фотографиям, сделанным с интервалом в 20—30 лет, видно, как увеличивается туманность. А ведь она отстоит от Земли на расстояние в 5000 световых лет! Легко подсчитать, что в среднем туманность расширяется в стороны от звезды со скоростью около 1000 километров в секунду. Таковы два разных этапа одного и того же явления — взрыва Сверхновой, разделенные промежутком в девять столетий.

В результате такого взрыва значительная часть звездной массы выбрасывается в окружающее пространство. Звездная материя постепенно расплзается вокруг остатка звезды и принимает неправильные очертания. Так образуется туманность.

Но почему звезда взрывается? Чем вызывается такая мгновенная потеря устойчивости? Единственное, что мы можем предположить, это чудовищный ядерный взрыв, при котором выделяется колоссальное количество энергии. Возможно, что какую-то роль здесь играют магнитные поля звезд (на некоторых звездах обнаружены переменные магнитные поля), периодичности в изменении которых установить не удалось. И все же полного понимания природы звездных взрывов пока нет. В особенности это касается Сверхновых.

Теперь мы можем вернуться к поставленному вопросу: каковы силы, сжимающие вещество до плотности белого карлика?

Прежде всего—тяготение. На поверхности Сириуса В сила тяжести примерно в 30 тысяч раз больше, чем на Земле. Человек весил бы там 1800 тонн, — вес полностью груженного железнодорожного состава!

При таких чудовищных плотностях среднее расстояние между атомными ядрами становится меньше радиуса самого атома и электронные оболочки должны были бы проникнуть друг в друга. А так как это невозможно, то электроны отрываются от ядер. Если плотности достигают такого значения, когда среднее расстояние между ядрами становится равным радиусу самой близкой к ядру электронной орбиты, то все электроны отрываются от ядер и вещество превращается в электронно-ядерный газ. При такой плотности в одном кубическом сантиметре будет около 10^{28} электронов и температура вырождения для электронного газа составит 10 миллионов градусов. А так как температура белых карликов даже в центральных областях значительно меньше, то электронный ферми-газ будет находиться в состоянии полного вырождения.

Но плотность вещества в звезде неравномерна. Максимальная в центре, она постепенно убывает к поверхности. Вместе с плотностью уменьшаются температура и степень вырождения электронного газа. В слоях, близких к поверхности, атомы вообще не ионизированы и

вещество находится в обычном состоянии. У того же Сириуса В лишь для 77% вещества электроны находятся в состоянии вырождения. Таковы выводы теории белых карликов, которая, как уже упоминалось, была разработана Л. Д. Ландау и Чандрасекаром.

Звезды-чудовища

Нейтронные звезды пока не обнаружены астрономическими наблюдениями. Это объясняется их небольшими размерами и ничтожной светимостью. Однако предсказываемый теорией (Л. Д. Ландау, Р. Оппенгеймер и М. Волков) неизбежный переход от белых карликов к нейтронным звездам дает надежду, что в будущем они все-таки станут доступны непосредственному наблюдению. Этому будут способствовать и новые отрасли астрономии, и новые ее принципы, вынесение астрономических приборов за пределы атмосферы, нейтринная астрономия и гамма-астрономия.

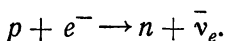
Как же совершается переход к нейтронным звездам? Когда речь шла о белых карликах, то мы имели в виду хотя и большие, но не предельные плотности вещества, не превышающие 10^8 г/см^3 . А как будет вести себя вещество при более высоких плотностях?

В. А. Амбарцумян допускает существование сколь угодно больших плотностей, присущих особому, дозвездному состоянию материи. Возможность возникновения таких больших плотностей, вероятно, заложена и в природе самих белых карликов. Сжатие карлика под воздействием сил тяготения может наступить в тот момент, когда внутреннее давление звезды, обусловленное в основном электронным газом, окажется не в состоянии скомпенсировать гравитационные силы.

При плотности вещества 10^8 г/см^3 и больше плотность электронов превышает 10^{32} на 1 см^3 , и тогда граничная энергия вырожденного электронного газа становится настолько большой, что основная масса электронов начинает двигаться со скоростями, близкими к скорости света.

При таких плотностях и энергиях состояние электронного и ядерного газов становится энергетически невыгодным. Чтобы общая энергия звезды понизилась, должна произойти ядерная реакция с захватом электро-

нов, благодаря чему значительная часть протонов в ядрах превратится в нейтроны:



Но, как уже известно, ядра являются устойчивыми лишь при определенных соотношениях составляющих их протонов и нейтронов. Когда нейтронов становится слишком много, ядра начинают распадаться на отдельные нуклоны. Получается та же картина, что и у белых карликов, у которых при плотностях до 10^8 г/см^2 атомы превращаются в электронный газ. Только у нейтронных звезд вследствие еще более высоких плотностей, разваливаются уже сами ядра и звезда состоит уже из трех газов: нейтронного, протонного и электронного. Как и у белых карликов, число протонов и электронов здесь одинаково, и вещество звезды в целом электрически нейтрально. С повышением плотности все больше растет количество нейтронов и уменьшается запас протонов и электронов. Когда число нейтронов начинает превышать 10^{34} на 1 см^3 (и до $6 \cdot 10^{38}$), оно уже в тысячу раз превосходит число протонов и электронов.

Еще в 1938 году Оппенгеймер и Волков показали, что нейтронная звезда может существовать в равновесии, если ее масса лежит в пределах 0,3—0,7 солнечной. Радиус такой звезды должен быть всего от 6 до 20 километров! Естественно, что нейтронные звезды до сих пор не обнаружены. Насколько малы нейтронные звезды по величине, настолько велики действующие в них поля тяготения. Сила тяжести на поверхности такой звезды будет в двести миллиардов раз больше, чем на поверхности Земли! И уже не давление вырожденного электронного газа уравнивает эту силу, как это имеет место у белых карликов, а давление нейтронного газа.

Как и у белых карликов, у нейтронных звезд наружная оболочка построена из электронов и голых ядер, а у самой поверхности — из неионизированных атомов. Однако масса и толщина этого слоя ничтожны по сравнению с нейтронным ядром.

Для того чтобы сжать белый карлик до размера нейтронной звезды, необходима фантастическая работа, которая, перейдя в энергию, разогрела бы звезду до колоссальных температур. Такая звезда не могла бы быть ус-

тойчивой. Но сила тяготения сжимает звезду очень медленно и энергия высвобождается тоже постепенно. Если бы эта энергия выделялась из звезды только лучеиспусканием, то сжатие продолжалось бы в течение многих миллиардов лет. Это гораздо больше, чем существует Галактика. Поэтому у нейтронных звезд просто не хватило бы времени, чтобы образоваться. Противоречие здесь разрешается с помощью вездесущего нейтрино. Нейтринные потоки беспрепятственно проникают сквозь толщу звезды и уносят в пространство основную часть энергии.

Интересно отметить, что для нейтронных звезд характерно такое специфически «микроскопическое» свойство, как дефект масс. Какое удивительное единство! Излученная в результате сжатия энергия должна привести к потере массы для звезды в целом. Подобно атомному ядру, масса нейтронной звезды должна быть меньше суммы масс всех атомов, из которых образована звезда. И вот дефект тем больше, чем выше плотность звезды. По сути, нейтронная звезда — это чудовищное атомное ядро, почти нацело сложенное из нейтронов.

Нейтронным звездам присуще еще одно интересное свойство, на которое указали В. Д. Давыдов и Цвикки. Оно заключается в следующем. Как известно из общей теории относительности, луч света отклоняется в поле тяготения от прямолинейного пути. Вблизи Солнца отклонение изменяется долями угловой секунды, благодаря чему звезды кажутся немного раздвинувшимися.

Иное дело нейтронная звезда. Она основательно прогибает пространство — время, и отклонение света будет настолько велико, что гравитационное поле станет своего рода оптической линзой, собирающей свет многих звезд.

Может быть, именно это свойство позволит когда-нибудь обнаружить первую нейтронную звезду.

Где же предел плотности звезд? Может быть, все заканчивается на нейтронных звездах? Или они способны претерпевать дальнейшее сжатие? На эти вопросы попытались ответить В. А. Амбарцумян и Г. С. Саакян, выдвинувшие гипотезу гиперонных звезд.

Дальнейшее увеличение плотности приводит к образованию гиперонов. Когда плотность превосходит 10^{15} г/см^3 , что в три раза превышает плотность в атомных

ядрах, граничная энергия для нейтронного газа становится больше, чем энергия покоя гиперонов. Поэтому термодинамически более выгодно превращение некоторой части нейтронов в гипероны, благодаря чему уменьшается полная энергия системы.

В таких условиях гиперон оказывается более устойчивой частицей, чем нейтрон. Это вытекает из принципа Паули. При распаде гиперона рождается нуклон, обладающий меньшей энергией, чем граничная энергия вырожденного нуклонного газа, который в данный момент уже находится в системе. В этом газе все нижние энергетические уровни плотно заполнены, и правило Паули запрещает появление новой частицы. Поэтому и не происходит распада гиперона. Из других элементарных частиц в гиперонной звезде в незначительных концентрациях присутствуют еще и отрицательные мюоны и пионы, устойчивость которых обеспечивается сильно вырожденным электронным газом.

Вскоре после появления первых гиперонов их концентрация достигает такой же величины, как и у нейтронов. Зато электронов в гиперонной звезде, как и в нейтронной, в тысячу раз меньше.

Находясь в состоянии равновесия, гиперонная звезда по массе приблизительно равна Солнцу при очень маленьком радиусе — порядка нескольких километров. Почти вся масса звезды приходится на сверхплотное ядро, состоящее из гиперонов, нуклонов, пионов и незначительного числа мюонов и электронов. Гиперонное ядро окружает шаровой слой, состоящий в основном из нейтронов. Наконец, третья область, представляющая собой оболочку звезды, сложена из голых ядер и электронов, а у самой поверхности — из атомов, как это имеет место у нейтронных звезд и белых карликов. Предполагается, что масса оболочки по сравнению с внутренними областями крайне мала. Толщина ее оценивается всего лишь в несколько метров.

Все это касается равновесных и устойчивых гиперонных звезд. Для них вызванное газом элементарных частиц колоссальное внутреннее давление в каждой точке уравнивается силами всемирного тяготения. Но как только масса гиперонной звезды превысит равновесную, звезда неизбежно должна взорваться с выделением огромного потока энергии. Приблизительно 20% энергии

покоя звезды переходит в электромагнитное и тепловое излучение. Этот поистине космический взрыв должен напомнить взрывы Сверхновых звезд.

В условиях, когда в звезде начинают появляться гипероны, среднее расстояние между центрами нуклонов становится равным или даже меньшим, чем их размеры. Трудно даже представить себе состояние вещества при такой плотности. Мы даже не можем предвидеть, что произойдет тогда с самими элементарными частицами. То ли они сохранят свою индивидуальность, то ли превратятся в нечто совсем иное. Некоторые физики считают, что для таких малых расстояний вообще неприемлемы такие понятия, как элементарная частица, пространство и даже время. Здесь действуют иные статистические законы, описывающие какое-то неведомое нам состояние материи.

Вполне возможно, что именно так выглядело вещество миллиарды лет тому назад в сжатой до предела Вселенной, где только еще рождались и ядра элементов, и сами элементарные частицы.

В обсуждении таких вопросов всегда приходится прибегать к известной доле фантастики, так как наши знания о структуре элементарных частиц еще весьма приблизительны. Недаром физики-субатомщики ведут упорную борьбу за увеличение энергии в ускорителях, чтобы воочию увидеть, как поведут себя элементарные частицы, сближенные до ничтожных расстояний.

Правда, уже теперь можно не без основания предполагать, что если при переходе вещества в состояние белых карликов разрушаются атомы и появляется плазма, а при переходе от белого карлика к нейтронной звезде должно наступить еще более глубокое изменение состояния вещества.

Вся беда лишь в том, что мы не можем пока ни предсказать, ни даже вообразить себе это изменение. Поэтому теория гиперонных звезд исходит из предположения о сохранении индивидуальных частиц при сверхъядерных плотностях.

Как только ядерщики вырвут у микромира с помощью сверхмощных ускорителей элементарных частиц эту тайну, астрофизики уточнят гипотезу сверхплотных звезд, а космологи получат ясное представление о дозвездном веществе,

Свидетели космических катастроф

Вооруженные некоторыми сведениями об эволюции звезд, мы можем вернуться к неоконченному рассказу о космических лучах.

Еще недавно многие исследователи придерживались мнения, что космические лучи образуются в основном в пределах нашей Галактики, а не приходят в нее из других систем. Во всяком случае это справедливо для частиц, энергия которых не превышает 10^{17} эв. Где же рождаются галактические скитальцы? Чтобы космическое излучение оставалось на постоянном уровне, где-то непрерывно должны испускаться частицы с общей энергией $10^{39} - 10^{40}$ эрг/сек. Такая заурядная звезда, как Солнце, расходует на испускание космических лучей $10^{21} - 10^{22}$ эрг/сек.

Если предположить, что все звезды нашей Галактики излучают столько же, то и тогда получится энергия в 1—10 миллионов раз меньше требуемой. В чем же дело? Значит, предположение, что космические лучи рождаются в Галактике, несостоятельно?

Кроме стационарных звезд в Галактике есть еще около миллиарда магнитных, каждая из которых может излучать в миллион раз больше энергии, чем Солнце. Правда, и в этом случае будет произведено лишь около 0,1—1% требуемой мощности. Но наш резерв еще не исчерпан. Новые и Сверхновые звезды, как указывают В. Л. Гинзбург и И. С. Шкловский, являются основным источником космического излучения.

Сверхновые взрываются в Галактике примерно раз в 40—50 лет. Конечно, с Земли удастся наблюдать далеко не все вспышки, так как большая их часть заслонена от нас непрозрачным межзвездным веществом галактического диска.

В других галактиках тоже происходят взрывы Сверхновых. Сила света этих взрывов часто превосходит силу света всех миллиардов звезд Галактики! Поэтому они хорошо заметны с Земли.

Взрыв Сверхновой грандиозен. Например, полная энергия, выделившаяся в туманности Кассиопеи А, отстоящей от Земли на расстояние 10 000 световых лет, составляет $10^{51} - 10^{52}$ эрг! Это в сто миллиардов раз превышает энергию годового излучения Солнца. Ученые

полагают, что по крайней мере около одной десятой этой энергии ушло на образование космических лучей. Одно это может компенсировать потери энергии всех космических лучей Галактики в течение 3—30 тыс. лет. Конечно, большинство взрывов Сверхновых несет значительно меньше энергии, но даже одного процента ее хватило бы на поддержание приблизительно стационарного состояния космических лучей с общей энергией 10^{56} — 10^{57} эрг на Галактику. Любопытно, что именно такие значения получены радиоастрономами для различных галактик.

Впрочем, не обходится и без исключений.

В последние годы астрономы открыли новые небесные тела, излучающие радиоволны подобно тому, как видимые нами звезды излучают свет. Нередко случается, что эти источники радиоизлучений находятся в районе расположения видимых небесных тел (Крабовидная туманность и другие остатки взорвавшихся звезд). Два наиболее мощных источника радиоизлучения находятся в таких районах космического пространства, где оптические приборы не установили присутствия видимых космических тел. Внимание астрономов всего мира устремлено к созвездию Лебедь, где находится галактика, получившая название Лебедь А, отстающая от Земли на расстояние 700 млн. световых лет. Там зарегистрирован самый мощный источник радиоизлучения.

Много раз пытались сфотографировать Лебедь А с помощью оптических телескопов. И только очень совершенный телескоп, установленный на горе Паломар (США), дал поразительную картину двух галактик, входящих одна в другую. Их центральные области были сильно искажены, смяты чудовищной силой гравитации.

Столкновение галактик, если оно действительно имеет место, конечно, не означает столкновения отдельных звезд, расстояния между которыми измеряются сотнями световых лет. Сами звезды остаются без изменения, но пути их движения под влиянием взаимного притяжения сильно искажаются. Столкновение газовых и пылевых облаков галактик изменяет форму последних, при этом возникает температура порядка 100 миллионов градусов.

Межзвездная пыль и газ взаимопроникающих галактик при столкновении начинают светиться, изменяются и рушатся магнитные поля, возникают электрические яв-

ления, сигналы от которых через сотни миллионов световых лет достигают земных радиотелескопов.

Итак, можно предположить, что столкнулись две галактики, две гигантские звездные системы протяженностью в миллионы световых лет. По сравнению с такими размерами расстояние между центрами столкнувшихся галактик (3000 световых лет) кажется незначительным. Но как при этом возникло такое интенсивное радиоизлучение? Исследования мощности и спектра радиоизлучения показали, что оно не может возникнуть в результате нагревания столкнувшихся газов. Сгустки радиоизлучения Лебедя А обнаружены в двух точках, разделенных расстоянием 120 тысяч световых лет. Это почти в три раза превышает видимую протяженность галактики. Тогда, может быть, эти источники излучения расположены в рассеянных облаках столкнувшихся газов? Но откуда такая огромная энергия радиоизлучения, в десятки раз превышающая световую энергию столкнувшихся галактик? Разреженные наружные части галактик не могут излучать ее. Так возникла гипотеза, что в созвездии Лебедь галактика столкнулась с антигалактикой или вошла в облака газа, состоящего из антивещества. Плюс-вещество столкнулось с минус-веществом! Тогда легко можно объяснить такое колоссальное выделение энергии. Однако такая гипотеза кажется фантастической и пока еще не строго обоснована. Некоторые ученые считают, что Лебедь А — не столкнувшиеся, а наоборот, расходящиеся галактики. Только будущее позволит пролить свет на тайну созвездия Лебедь.

Колоссальная энергия космических лучей Лебедя А, которая в 100 тысяч раз превосходит энергию излучения нормальных галактик, является именно таким исключением, о котором мы говорили. По приходящему на Землю радиоизлучению Лебедь А уступает только Солнцу и Кассиопее.

Туманность Центавр А, расположенная ближе к Земле, являет собой такую же картину, что и Лебедь А, за тем лишь исключением, что источники радиоизлучения разделены в несколько раз большим расстоянием (до 650 тысяч световых лет). Можно предположить, что Лебедь А и Центавр А — одинаковые по типу объекты, но находящиеся на разных стадиях развития. В галактиках происходит некое подобие взрыва, сопровождающегося

выбрасыванием газовых потоков и космическим излучением. Но если взрыв Сверхновой мы можем в той или иной мере объяснить различными ядерными процессами, то пока совершенно непонятны силы и причины, вызывающие взрывы галактик.

Высказываются лишь предположения, что в этих галактиках в настоящее время (конечно, с точки зрения земного наблюдателя, который видит сейчас картины, происходившие сотни миллионов лет тому назад) происходит бурное звездообразование.

Впрочем, какими бы интенсивными источниками космического излучения ни являлись внегалактические объекты, в балансе нашей Галактики это излучение особой роли не играет. По крайней мере так считалось до последнего времени. Космические ливни внегалактического происхождения крайне редки и наблюдались только два раза.

Так, на станции по исследованию космических лучей в Нью-Мексико (США) недавно был зарегистрирован ливень рекордной мощности, при котором в атмосфере образовалось от 20 до 40 миллиардов заряженных частиц. Источником ионизации должны являться частицы космических лучей, влетевшие в атмосферу с энергией 10^{19} — 10^{20} эв. Как мы увидим позднее, из теории происхождения космических лучей следует, что ускорение частиц внутри нашей Галактики не может сообщить им энергий, превышающих 10^{19} эв. Всякая частица с более высокой энергией должна иметь внегалактическое происхождение. Пока известны два случая ливней столь большой мощности, что их приходится объяснять прилетом частиц из-за пределов Галактики: первый из них наблюдался на той же станции в декабре 1959 года.

Итак, нам остается принять гипотезу, что взрывы Сверхновых являются именно тем «впрыскиванием», которое компенсирует потери энергии космических лучей в нашей Галактике. С энергетической стороны тут все обстоит как будто хорошо. Но вот скорость... Дело в том, что скорость газов разлетающейся оболочки Сверхновой звезды не превосходит тысячи километров в секунду. Это во много раз меньше релятивистской скорости космических лучей. Невольно напрашивается мысль о каком-то природном ускорителе, способном разогнать космические частицы до чудовищных скоростей.

Газовые ускорители космоса

Долгое время астрономы принимали газовые туманности за беспорядочные скопления огромных по протяженности и ничтожных по плотности газовых масс, которые переизлучают свет ближайших к ним звезд. Г. А. Шайн и В. Ф. Гаазе, анализируя фотографии различных туманностей, обнаружили в них особую волокнистую структуру. У одних туманностей волокна были похожи на круги, охватывающие газовые облака, у других почти вся газовая масса была сосредоточена в волокнах. Одна такая туманность даже была образно названа «Гаммаком». Спектральные исследования показали, что туманности находятся в непрерывном движении, постоянно меняя свои очертания. Были обнаружены даже распадающиеся туманности и причудливо вытянутые, точно растянутые какими-то неизвестными силами.

Шайн пришел к выводу, что движение туманностей во многом зависит от воздействия межзвездных магнитных полей. Откуда же берется магнетизм во Вселенной?

Прежде всего, звездная радиация. Коротковолновое излучение звезд стремительно обрушивается на атомы межзвездного газа, превращая их в хаотическое скопище электронов и ионов, которые движутся с колоссальными скоростями. Именно поэтому межзвездный газ становится проводящим. Если бы даже когда-то в далеком прошлом Галактика и не обладала собственным магнитным полем, то оно все равно должно было возникнуть. Обладая в разных частях различной плотностью и температурой, газовые облака становятся средоточием непрерывно движущихся заряженных частиц. Обгоняя более тяжелые ионы, движущиеся электроны создают направленные и вихревые токи, которые и наводят в Галактике магнитное поле. Сначала напряженность такого поля будет незначительной. Но постепенно она начнет расти. И вот почему.

Движущиеся между звездами газовые облака можно уподобить проводнику, который перемещается в магнитном поле. В движущемся проводнике наводится электродвижущая сила индукции, которая, в свою очередь, создает вокруг проводника собственное магнитное поле. Такие дополнительные магнитные поля будут нести с собой и облака межзвездного газа. Хаотичное движение газов

приведет к тому, что магнитные поля отдельных облаков, накладываясь друг на друга, усилят общее магнитное поле после Галактики.

Магнитные силы действуют вдоль основной «экваториальной» плоскости Галактики. Преимущественно в этом же направлении вытягиваются и волокна газовых туманностей.

Более того, возможно даже, что спиралеобразная форма нашей Галактики тоже вызвана действием магнитных сил. С. Б. Пикельнер, например, недавно установил, что скорости беспорядочных движений очень разреженной газовой среды между туманностями составляют десятки километров в секунду.

При таких скоростях частицы межзвездного газа будут заметно удаляться в обе стороны от средней экваториальной плоскости Галактики. Так была открыта сферическая газовая «корона» Галактики, которая, подобно тончайшей вуали, окутывает ядро нашей звездной системы. Все это свидетельствует о том, что космический магнетизм играет во Вселенной большую роль. Детальное изучение этого интереснейшего явления только начинается.

Теперь мы можем перейти непосредственно к ускорению космических частиц. Прежде всего ускорение может иногда происходить и в самой газовой оболочке. Если по газовой оболочке будет распространяться мощная ударная волна, то при убывании плотности газа в направлении от центра скорость волны будет увеличиваться. Она становится соизмеримой со скоростью света уже при плотности 10 г/см^3 , и весь внешний слой вещества превращается в космическое излучение. Когда ударная волна достигает областей с плотностью, близкой к десяти-миллионным долям г/см^3 , можно получить частицы с энергией до 10^{17} эв , то есть почти полный набор частиц, которые наблюдаются в космических лучах.

Однако есть основания полагать, что на самом деле максимально возможная энергия частиц, ускоренных ударной волной, по крайней мере на несколько порядков ниже. Поэтому наиболее вероятным на сегодняшний день представляется механизм ускорения, который используется сейчас в физических лабораториях. Речь идет о воздействии на заряженные частицы электромагнитных полей.

Прежде всего это так называемое бетатронное ускорение, когда на частицу воздействует нарастающее во времени магнитное поле. Если частица успеет вылететь из области усиливающегося поля до того, как оно начнет ослабевать, то она унесет некоторую добавочную порцию энергии.

Можно ускорять частицы и иным путем за счет столкновения их с быстродвижущимися сгустками магнитных полей. Такие столкновения приведут к тому, что часть энергии поля перейдет к частице, которая сможет достичь энергии 10^{17} эв. Правда, этот процесс более медленный, чем бетатронное усиление, но зато он может действовать в течение всего времени жизни частицы.

Наконец, последний вопрос. Почему в космических лучах гораздо больше тяжелых ядер, чем в легких? Связано ли это с принципом ускорения или же объясняется тем, что в Сверхновых образуется больше тяжелых ядер, чем в других звездах?

Ученые склонны видеть основную причину в механизме ускорения. Особенно на первоначальных стадиях. Предполагается, что более тяжелые частицы будут ускоряться независимо от их начальной энергии, тогда как для ускорения легких частиц нужна некоторая начальная энергия, которой обладают далеко не все частицы. Вот почему в космических лучах оказывается больше тяжелых ядер, чем этого можно было ожидать.

Так, вблизи Земли обнаружено заметное число атомов лития, бериллия и бора, которое во много раз превосходит их относительное количество во Вселенной. Это и явилось результатом расщепления более тяжелых ядер при столкновении с атомами межзвездной среды.

Одна из основных характеристик космических лучей — это время их жизни. Именно оно определяет судьбы галактических скитальцев, которые либо покидают Галактику, либо погибают, столкнувшись с ядрами атомов межзвездного газа. (Отметим попутно, что межзвездная среда, о которой мы столько говорили, представляет собой более разреженную, чем туманность, газопылевую материю, на 90% состоящую из водорода. Средняя плотность межзвездного газа — порядка $5 \cdot 10^{-24}$ г/см³, что примерно соответствует одному атому водорода на кубический сантиметр).

Атомы межзвездного водорода находятся преимущественно в нейтральном состоянии, но вблизи галактической плоскости водород ионизируется и превращается в электронно-протонный газ, дающий сильное радиоизлучение. Наиболее обоснованной сейчас представляется концентрация межзвездного газа в одну частицу на 100 см^3 галактического пространства. При такой концентрации и релятивистской скорости космических частиц можно определить длину их свободного пробега и время до столкновения с протонами межзвездного газа. Это время колеблется от 140 миллионов лет для ядер железа до 3800 миллионов лет для протонов. Очевидно, это значительно меньше времени существования Галактики. Поэтому можно сделать вывод, что все существующие сейчас космические лучи образовались не одновременно с Галактикой, а уже в процессе ее жизни.

Возможность вылета космических лучей за пределы Галактики зависит только от конфигурации магнитных полей и условий, существующих на ее границах. Если все магнитные силовые линии замыкаются в Галактике, то космические лучи превращаются в вечных пленников. Однако наша Галактика, по некоторым данным, не является такой «закрытой» моделью. Ее силовые линии уходят в межгалактическое пространство, напряженность магнитного поля в котором в 100 раз меньше, чем в Галактике. Поэтому космические лучи могут улетать из нашей звездной системы в другие области Вселенной.

Однако путь, который должна пролететь внутри Галактики основная масса космических частиц, настолько длинен и сложен, что на преодоление его требуется гораздо больше времени, чем его отпущено для жизни отдельных частиц. Поэтому можно с уверенностью считать, что космические лучи сравнительно редко покидают галактические системы независимо от структуры их магнитных полей.

В отличие от заряженных частиц, которые в течение своей жизни тысячи раз пересекают Галактику, из конца в конец, фотоны и нейтрино лишь один раз проносятся через звездный мир и навсегда исчезают в глубинах мироздания.

Считается, что в настоящее время в Галактике находится 10^{58} — 10^{59} космических частиц. Общая энергия

их настолько велика, что ее можно принять равной полной энергии магнитных полей Галактики.

Непрерывно врываются галактические скитальцы в атмосферу Земли, неся с собой ответы на важнейшие вопросы астрофизики, касающиеся эволюции и происхождения Вселенной

Мир по ту сторону пустоты

Продолжим теперь рассказ о сжимающихся и расширяющихся мирах, о рождении частиц «из ничего» и о творящем поле.

К сожалению, состояние наших знаний таково, что вопрос пока еще остается открытым. Единственное, что мы можем предложить, это две фантастические гипотезы. Первая из них принадлежит Д. А. Франк-Каменецкому, вторая — Г. И. Наану.

Итак, вообразим, что Вселенная — это бесконечное пространство, в основном плоское и свободное от вещества. Очень редко где-нибудь возникает грандиозная флуктуация вакуума (помните, что вакуум — это не абсолютная пустота). Эта флуктуация проявляется в виде образования огромной массы нейтронов и антинейтронов, которая вызывает местное искривление пространства, приводящее его к местному расширению. В процессе расширения частицы и античастицы аннигилируют и превращаются в свет.

Возникают хаотические турбулентные движения колоссальных масштабов. Пространство корчится, прогибаясь под действием внезапно сосредоточившихся то здесь, то там масс. И вот где-то случайно оказывается избыток нейтронов. Там возникает «мир» — система галактик, подобных нашей. Зато там, где образовался избыток античастиц, возникает «антимир», построенный из антиатомов. «Эта фантазия, — пишет Д. А. Франк-Каменецкий, — наглядно показывает, сколь интересны явления, в которых одновременно важны как тяготение, так и ядерные силы».

Нет сомнений, что наука придет к пониманию волнующих тайн пространства и времени, но она никогда не раскроет их до конца.

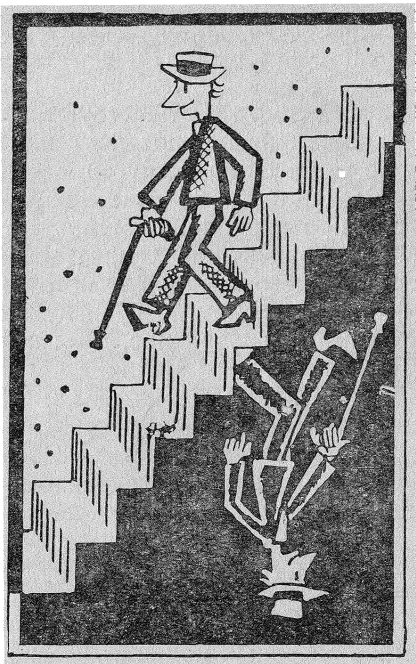
Антимир, антивещество, античастицы, аннигиляция позитронов и электронов — все это реки и ручейки, вы-

текающие из уже знакомого «моря Дирака». Но ядро гениальной дираковской теории — это вакуум.

Дираковский вакуум—это море, наполненное множеством элементарных частиц с отрицательными энергиями. Мы не умеем пока обнаруживать эти частицы с помощью наших приборов, но, сообщив им огромный энергетический потенциал, мы можем их «выбить» из вакуума. Это неощутимый, но вполне материальный фон, в котором «плавает» наша Вселенная.

Но почему фон? — задает вопрос Г. И. Наан, — почему не считать это бесконечным, но невидимым миром? Этот мир движется и подчиняется всем диалектическим законам развития. И то обстоятельство, что энергия его частиц меньше нуля, ничему не мешает. Это аналогично алгебраическим операциям с отрицательными числами. Чем эти операции отличны от чисто арифметических? Только тем, что приходится учитывать знак минус.

Все наши физические законы не потеряют там своего смысла. Они только как бы «перевернутся», приобретут знак минус. И если данные «красного смещения» галактик говорят нашим астрономам, что Вселенная расширяется, то в «море Дирака» Вселенная будет сжиматься, энергия концентрироваться. И, наконец, главное. Физика тел отрицательной энергии примерно такая же, какой стала бы физика тел нашего мира, но во времени, текущем противоположно нашему. Неощутимый мир живет на встречном времени, поэтому он и неощутим.



Нашей Вселенной всюду сопутствует Вселенная встречного времени. Наше «завтра» для нее — «вчера». Обе Вселенные совмещаются, пронизывают друг друга, они неощутимо сосуществуют и в нас самих, но физически никак не влияют друг на друга. Ведь каждая из них по отношению к другой — мир отрицательных энергий. Это единство и взаимное отрицание, единство и борьба противоположностей. Это наивысшее выражение законов диалектики. Существование сжимающегося и расширяющегося миров — источник развития Вселенной.

Может быть, нигде и не нужно искать «антимир» — он рядом, он внутри нас, и он неощутим.

Пока неощутим! Величие человека проявляется в активном познании необозримой неисчерпаемости мироздания. Эта неисчерпаемость волнующа, загадочна и прекрасна. Великое счастье исследователя в том, что ему дано познавать эту неисчерпаемость, непознаваемую до конца.

На пути к нейтринному телескопу

После краткого знакомства с процессами, протекающими в звездных недрах, мы вновь возвращаемся к чаштице-призраку. Колоссальная проникающая способность нейтрино заставляет думать, что они могут играть важную роль в космических явлениях. Исследование общего фона нейтринного излучения могло бы многое разъяснить в проблеме происхождения нашего мира.

Эти идеи стали той основой, на которой возникла новая область науки — нейтринная астрофизика, описывающая многочисленные явления, в которых нейтрино принадлежит главная роль.

Нейтринная астрофизика, пожалуй, самая молодая наука на Земле. Она родилась 10 мая 1960 года, когда на расширенном заседании Комиссии по космогонии Астрономического совета АН СССР Б. М. Понтекорво и Д. А. Франк-Каменецкий выступили с докладами, в которых были изложены основные принципы новой отрасли знания. В нейтринной астрофизике сразу же наметились два основных направления.

Прежде всего, нейтрино участвует в ряде ядерных реакций, из которых складывается жизнедеятельность звезд. Поэтому астрофизика как теоретическая наука должна

оценить место нейтрино в динамических внутризвездных процессах. Возможно, что в связи с этим придется пересмотреть некоторые космологические концепции.

Кроме того, потоки нейтрино, летящие из космического пространства, могут быть зарегистрированы на Земле, что позволит получить неоценимую информацию о Вселенной. Это наиболее перспективная и интересная область нейтринной астрофизики, которую можно было бы назвать экспериментальной нейтринной астрофизикой.

Долгое время единственным окном во Вселенную был объектив телескопа. Контакт Вселенной с человечеством поддерживался лишь в узком диапазоне электромагнитных волн. Потом появились радиотелескопы, позволяющие расширить доступный приборам диапазон, идущих из космоса колебаний. Наконец, фотография и болометрические измерения позволили человеку подслушать голос Вселенной, записанный в невидимых участках спектра, и еще более расширить диапазон наблюдения за счет ультрафиолетовых и инфракрасных лучей.

Если к этому добавить еще и космическое излучение, то список каналов связи человечества с миром звезд и галактик будет исчерпан.

Таким образом, основная информация о небесных телах поступает к нам с помощью фотонов, излученных со звездной поверхности. Свет и радиоволны, возникающие под наружным покровом звезд, поглощаются веществом и не могут вырваться наружу, какими бы мощными они ни были. Вот почему мы все еще не в состоянии практически судить о внутризвездных процессах, для характеристики которых приходится прибегать к различным теоретическим моделям.

Теперь представьте себе, что астрофизики научились регистрировать интенсивность и энергию нейтрино и антинейтрино, летящих из космоса и от отдельных звезд. Прежде всего ученые получают точные сведения о процессах, протекающих внутри звезд. Ведь нейтрино могут пронизывать звездные толщи с удивительной легкостью.

Правда, регистрации нейтринного потока могут помешать другие виды излучений. Для того чтобы избавиться от них, нужно в отличие от обыкновенной астрономии приступить к изучению звезды (речь идет прежде всего о нашем Солнце), не тогда, когда она поднимается над горизонтом, а наоборот, когда она уходит за горизонт.

Тогда все посторонние излучения будут поглощены толщей земли, как фильтром.

Известно, что источником энергии являются термоядерные реакции превращения водорода в гелий (водородная цепочка и углеродный цикл). Но о том, какие именно реакции протекают в самых недрах звезд, мы, как уже говорилось, можем судить весьма приблизительно. Только нейтрино способны дать ответ на эту загадку.

Нейтрино образуются в разных ядерных реакциях прямым или косвенным путем, причем величина их энергии строго зависит от типа породившего эти нейтрино процесса. Это самое главное исходное положение нейтринной астрофизики, потому что от энергии нейтрино зависит вероятность взаимодействий, а отсюда и возможность регистрации неуловимых частиц. Число же зарегистрированных нейтрино разных энергий, или, иначе, распределение нейтринного потока по энергиям, даст сведения о преимущественном типе реакций, протекающих в недоступных для нас звездных недрах.

Хорошо известно, что энергия, испускаемая Солнцем в виде нейтрино, довольно велика. Она составляет несколько процентов всей излучаемой энергии. Чтобы судить о грандиозности этого энергетического потока, достаточно сказать, что наше светило вот уже на протяжении миллиардов лет каждую секунду выбрасывает в пространство энергию, соответствующую потере свыше четырех миллионов тонн массы!

На долю нейтрино приходится, таким образом, сотни тысяч тонн массы в секунду!

Первоочередной задачей нейтринной астрофизики является определение достаточно точного числа испускаемых Солнцем нейтрино.

Нейтрино буквально обрушиваются на поверхность Земли. На каждый квадратный сантиметр ее, по грубым оценкам, приходится десятки миллионов «неуловимых» в секунду. Но разработанные в настоящее время методы обнаружения дают возможность заметить только еще более мощные потоки нейтрино (порядка 10^{12} частиц на см^2 в сек). Чтобы зарегистрировать излучаемый Солнцем нейтринный поток, нужно повысить мощность регистрирующих устройств по крайней мере в тысячу раз. Предполагаемый же общий фон «космических» нейтрино еще в тысячу раз меньше, чем поток «солнечных» нейтрино.

Сейчас даже неясно, каким путем можно зарегистрировать столь малый фон.

Очень важным представляется еще одно устремленное в будущее назначение нейтринной астрофизики. Оно связано с гипотетическим существованием антимиров. Единственная возможность решить вопрос о существовании галактик или более крупных объектов, построенных из антивещества, — это определить отношение количества нейтрино к количеству антинейтрино. Такой эксперимент позволил бы решить еще один важный космологический вопрос: равны ли количества вещества и антивещества во Вселенной.

В настоящее время в стадии разработки находится проект большой подземной лаборатории для изучения процессов рождения мюонов потоками нейтрино, проходящими к нам снизу и пронизывающими по пути 13-тысячекилометровую толщину земного шара.

Мегами́р

На примере нейтрино особенно ясно выступает великое единство мира, удивительная взаимосвязь протекающих в нем процессов. Без нейтрино мы бы не могли построить современную теорию элементарных частиц, без нейтрино мы не можем развивать наши представления о Вселенной. Казалось бы, два совершенно отдельных замкнутых мира со своими особыми мерами пространства и времени, но на самом деле они едины. Вселенная — это не только Галактика и звезды, но и атомы, и элементарные частицы.

Мы уже не раз говорили об этих мирах. Мы даже познакомились с их названиями: микромир, макромир и мегамир. Точнее было бы назвать эти миры областями, характеризующими внезапные качественные скачки при постепенном переходе от малого к большому. Именно новое качество, новые, совершенно отличные физические законы и обусловили такое деление. Мы уже познакомились со специфическими законами микромира, мы даже заглянули одним глазком в мегамир. Теперь нам предстоит ближе познакомиться с качественными особенностями больших величин.

Когда-то научному исследованию была доступна лишь очень небольшая область Вселенной. Во времена

античной натурфилософии, во времена Возрождения для человека не существовало разнообразия единиц измерений. Говоря современным языком, тогда не было других единиц, кроме сантиметра или километра — для измерения длины и секунды или года — для измерения времени.

Законы макромира были изучены раньше всего. И это понятно. Человек сначала изучил все то, что его непосредственно окружает, и только потом предпринял дальнейший поиск в областях Вселенной, которые во много миллионов раз больше и меньше его.

Изучая природу, человек выяснил, что на разных ступенях ее одни и те же взаимодействия вызывают разные последствия. Чтобы убедиться в этом, не нужно особых приборов, не нужно углубляться ни в недра звезд, ни в атомные ядра. Возьмем для примера такое понятие, как сила тяжести. Сила тяжести есть проявления закона всемирного тяготения. Она пронизывает все тела. Спрятаться от нее невозможно.

Вообразим себе, что мы перенеслись назад, во времена Ньютона. И вот мы с удивлением замечаем, что с уменьшением массы уменьшается «удельный вес» этой силы и возрастают силы молекулярного сцепления. Вода из опрокинутой кружки выливается на пол, но капля висит на конце тонкой соломинки. Еще более мелкие капли свободно плавают в воздухе, находясь во взвешенном состоянии, а сам воздух не только не оседает на Землю, но, наоборот, стремится расшириться.

«Привыкнув к одному кругу явлений, — пишет Б. А. Воронцов-Вельяминов, — люди часто, подходя к изучению новой области, начинают с того, что переносят и туда знакомые образцы. В науке большую роль играет метод аналогии и экстраполяции — распространения знакомых законов на явления, еще мало изученные».

Мы уже видели, как Бор и Зоммерфельд изобразили электронные оболочки атомов по подобию орбит Солнечной системы. Потом от этой модели пришлось отказаться, так как в новом кругу явлений властвовали свои законы, проявляющиеся в квантовании энергии и волновых свойствах электронов.

Чрезвычайно интересно, что новое качество, новые закономерности возникают уже при небольшом изменении порядка размеров системы. Например, различие разме-

ров систем, обладающих качеством жизни, где властвуют биологические законы (человек, многие животные, микроорганизмы) и размеров молекул (10^{-8} см), подчиняющихся действию молекулярных сил, составляет разницу в 6—10 порядков. Различие же в размерах молекул и атомных ядер (10^{-13} см) составляет только 5 порядков.

Ни квантовые процессы, ни ядерные силы нельзя было предвидеть, основываясь на знании законов газового состояния или деления клеток. Точно так же мы сейчас не можем предвидеть, с чем столкнутся физики, когда преодолеют расстояние в $10^{-14} \div 10^{-15}$ см.

От своего места во Вселенной, от размеров своей системы человек на 15 порядков спустился в микромир, встретив на этом чудесном пути такие необыкновенные явления, как биологические, молекулярные, атомные, ядерные.

Теперь обратим внимание на другую сторону шкалы размеров. Нам предстоит удивительный путь от макромира к мегамиру. В мегамире человек дошел до таких систем, как галактики, которые превышают его систему на 20—21 порядок. В мегамире не только километры, но и миллионы, даже миллиарды километров представляют собой совершенно неподходящую единицу длины. Здесь появляются такие единицы, как световой год (10^{13} км), парсек ($3 \cdot 10^{13}$ км), килопарсек (10^3 парсеков), мегапарсек (10^6 парсеков). Длительность процессов в мегамире, как мы уже знаем, может измеряться миллиардами лет, а скорости нередко становятся соизмеримыми со световой. Интересно, что скорости микромира и мегамира могут измеряться величинами одного и того же порядка, а макромир не знает таких больших скоростей. Мегамир — это мир исполинских космических систем, совокупность которых образует систему наивысшего известного в настоящее время порядка — Метагалактику.

Уже в XVIII веке Иммануил Кант и английский астроном Томас Райт выдвигали идеи о существовании звездных систем за пределами Млечного Пути. Райт предполагал, что точно так же, как помимо нашего Солнца существуют и другие солнца, так помимо нашей Галактики есть и другие звездные системы. Это великое научное предвидение целиком было основано

на методе аналогий. Кант считал, что эти другие звездные системы настолько удалены от нас, что даже с помощью телескопа нельзя различить отдельные составляющие их звезды. Основываясь на том же методе аналогий, Кант предсказывал, что звездные миры должны казаться слабыми пятнами круглой или эллиптической формы в зависимости от наклона линии зрения. Такие пятна, получившие название туманностей, были обнаружены многими астрономами. Но никто не мог доказать, что эти туманности лежат за пределами Млечного Пути.

История внегалактических открытий начинается с Вильяма Гершеля. Исследование природы туманностей явилось вершиной деятельности этого выдающегося астронома. Трудность задачи усугублялась еще и терминологической путаницей. Ведь термин «туманность» применялся не только к предполагаемым внегалактическим объектам, но и к светящимся массам диффузного вещества нашей системы. Даже каких-нибудь тридцать-сорок лет тому назад наши представления о туманностях были неточны и противоречивы.

В 1785 году Гершель пришел к убеждению, что туманности — это оптически неразрешенные изображения звездных скоплений, находящихся за пределами Млечного Пути.

Однако полстолетия спустя один из основателей астрономической спектроскопии Хаджинс доказал, что свет от туманности Ориона и некоторых других тождествен излучению светящихся масс газа. Выходило, что все туманности представляют собой просто светящиеся газовые облака. Ни о каком их внегалактическом происхождении не могло быть и речи.

В 1845 году в Ирландии был установлен телескоп-рефлектор с огромным по тем временам зеркалом. Диаметр этого зеркала достигал шести футов. Наблюдая в этот телескоп ночное небо, Росс сделал одно из наиболее выдающихся астрономических открытий прошлого века. Он открыл спиральность некоторых туманностей. Обнаружением первой спиральной туманности в созвездии Гончих Псов ознаменовался новый период космогонии. Во времена Росса было открыто довольно много таких туманностей, а в 1918 году, когда был построен знаменитый рефлектор на Маунт Вильсон, их количество составляло уже полмиллиона. И все же

многие астрономы склонны были считать спиральные туманности галактическими объектами. Более того, в 1885 году в спиральной Туманности Андромеды была обнаружена звезда, которая, внезапно возникнув, быстро приобрела светимость, составлявшую одну десятую светимости всей туманности! Ее положение в туманности и спектр, который сильно отличался от спектров типичных Новых, ясно свидетельствовали, что она не является близкой звездой, случайно заслонившей часть туманности.

Только через тридцать с лишним лет, когда тщательно изучили снимок той же туманности, обнаружили в ней две новые, очень слабые звезды. Так был сделан вывод, что туманность Андромеды отстоит от Земли на расстояние порядка 1 миллиона световых лет и имеет размеры, сравнимые с Млечным путем.

В 1924 году Э. Хаббл, уже знакомому нам по рассказу о «красном смещении», удалось доказать, что Туманность Андромеды — самая близкая к нам Галактика, в которой в 1875 году произошел взрыв Сверхновой.

В крупнейшие современные телескопы удается сфотографировать сотни галактик. На некоторых участках неба галактик даже больше, чем звезд. На фотографиях галактики выглядят в виде туманных, слегка размытых пятен. Но стоит рассмотреть негативы в микроскоп, как одинаковые пятнышки превращаются в разнообразные звездные миры.

В 1956 году американские астрономы закончили составление уникального небесного атласа. Он составлен из огромного числа фотографий различных участков неба, сделанных с помощью 48-дюймового телескопа, установленного в обсерватории Маунт Паломар. Тысячи еще никем невиданных звездных систем открылись удивленному и восхищенному взгляду человека. Изучение этих систем — задача на долгие, долгие годы. Но уже первые полученные учеными результаты в корне изменили прежние представления о мегамире. В настоящее время нам известно уже более миллиарда других галактик! Галактики имеют различное строение и размеры. Расстояния между нами составляют в среднем 500 тысяч парсек. Полтора миллиона лет требуется световому лучу, чтобы преодолеть расстояние от одной галактики до другой. Межгалактическое пространство, как и межзвездное, за-

полнено крайне разреженной средой и содержит также «выброшенные» из галактик звезды.

Наша Галактика — самый заурядный островок, входящий в метагалактическую систему. Только часть Метагалактики доступна оптическим и радиотелескопам. Она называется «астрономической Вселенной».

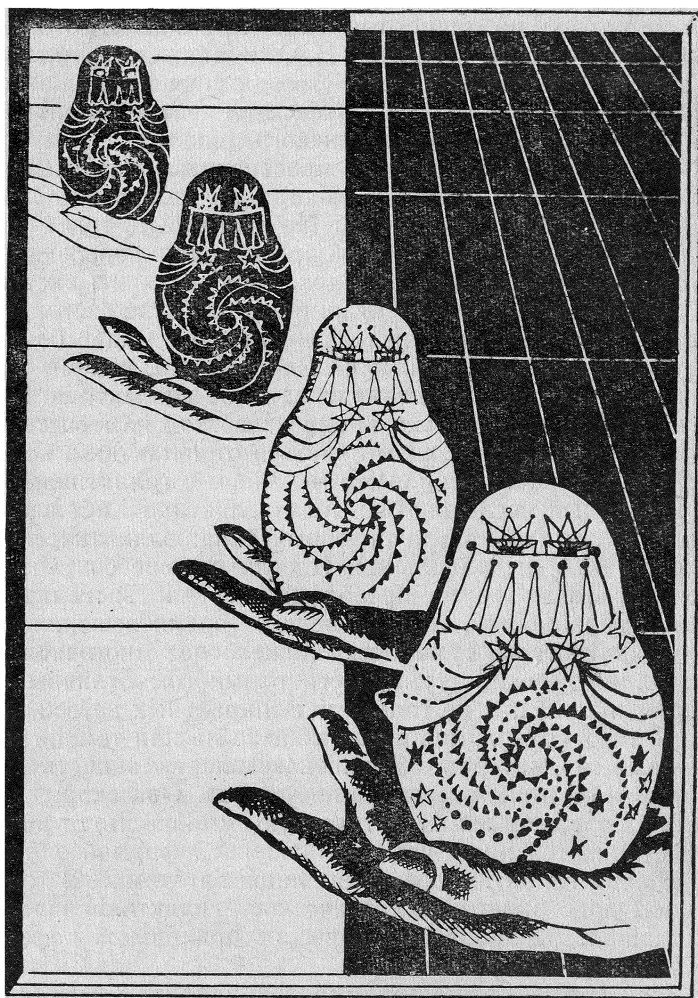
Но, несмотря на то, что еще ни один человек не сумел увидеть границы Метагалактики, она была открыта задолго до появления современных телескопов. Как в свое время гениальное провидение Демокрита и Левкиппа на много столетий предвосхитило развитие атомистики, так и человек, открывший Метагалактику, опередил свое время.

Архипелаги звездных островов

Это было в то время, когда Вильям Гершель только еще мечтал об изучении звездного мира. Это был век, когда граница Солнечной системы проходила по орбите Сатурна. Именно тогда, вопреки научным теориям современников, сын базельского портного Иоганн Ламберт открыл Метагалактику.

Ламберт был последователем Джордано Бруно, который тоже вопреки всему и всем громогласно заявил о множественности звездных миров и пошел во имя этой идеи в огонь на Кампо ди Фиоре. Ламберт был уверен, что, подобно нашей семье планет, вокруг каждой звезды тоже обращаются планеты. По мысли Ламберта, все планетные системы вместе со своими солнцами являются первой, самой нижней ступенью иерархии мира — системой первого порядка. Звездные скопления, которые по современной терминологии мы называем галактиками, Ламберт называл системами второго порядка.

Призвав на помощь плодотворную, но коварную Аналогию, Ламберт высказал убеждение, что системы второго порядка должны образовывать более грандиозные системы третьего порядка и так далее. «Иерархия систем» Ламберта не имеет конца. Это матрешки в матрешках. Наука едва-едва осваивает сейчас систему третьего порядка, соответствующую тому, что мы называем ныне Метагалактикой. Трудно даже фантазировать о более высоких системах. Но не нужно обвинять современную науку в бескрылии. Мир не так прост, как это ка-



залось Ламберту. Это в «иерархии систем» одна система напоминает другую, как сидящие одна в другой матрешки. Мы же знаем, что количественному росту соответствуют глубокие качественные изменения. Галактики ничем не похожи на планетные системы, а звезды отличны и от планет, и от галактик. И если движением планет управляет центральное тело — звезда, превосходящая по массе все планеты, вместе взятые, то в центре галактики, вопреки Ламберту, нет исполинского солнца.

Галактики расположены в пространстве относительно гуще, чем звезды. Средние расстояния между звездами на 7—8 порядков превышают их диаметры, тогда как межгалактические расстояния превышают поперечники галактик лишь на один порядок. Вправе ли мы экстраполировать эти зависимости на более высокие системы и считать, что метагалактики относительно еще ближе друг к другу, чем галактики? Единственно, что мы можем сказать здесь, вытекает из законов диалектики. Метагалактики, если только кроме известной нам системы есть еще и другие, будут отличаться от галактик и количественно, и качественно. Что мы знаем о галактиках?

Известный исследователь Метагалактики Хаббл разделил галактики на три основных типа: эллиптические, спиральные и неправильные. И если раньше считалось, что спиральная форма преобладает среди внегалактических туманностей, то в последнее время выяснилось, что эллиптические туманности даже более многочисленны. Эллиптические туманности во многом отличны от спиральных. В них не только нет спиральных ветвей, но, кроме того, содержится очень мало пыли или темной поглощающей материи. Эллиптическая туманность на снимке мало напоминает систему звезд. Она скорее похожа на светящуюся галактическую туманность, от которой отличается лишь четко выраженной формой эллипса. Но так галактика выглядит лишь на снимке. В трехмерном пространстве эллиптические галактики являют величайшее разнообразие форм: от правильной сферы до сплюснутой чечевицы.

Если у эллиптических галактик никаких заметных структурных деталей обнаружить не удастся, то в спиральных галактиках хорошо заметно сферическое ядро и весьма плоская внешняя часть с более или менее ярко выраженными спиральными ветвями.

Помимо спиральных и эллиптических галактик существуют звездные системы с бесформенными структурами. Это неправильные галактики, среди которых наиболее известны два «спутника» Млечного Пути — Магеллановы облака. Их впервые описал участник знаменитого путешествия Магеллана Пигафетта. Магеллановы облака состоят из десятков тысяч звезд, среди которых сейчас известно свыше 2000 переменных. Они отстоят от нас на расстояние в 125 тысяч световых лет. Большое Магелланово облако имеет поперечник в 26 тысяч световых лет, малое — около 17 тысяч световых лет.

Вместе с Млечным Путем Магеллановы облака образуют кратную динамическую систему из трех галактик. От Большого Магелланова облака к нашей системе тянется исполинская звездная перемычка — «звездный коридор».

Размеры галактик различны, причем спиральные галактики больше, чем эллиптические. Диаметр знаменитой туманности Андромеды около 40 тысяч парсек, т. е. несколько больше, чем у Млечного Пути. Галактика в созвездии Треугольника имеет поперечник всего в 7 тысяч парсек.

В зависимости от размеров галактик число звезд в них заключено в пределах от 10^7 до 10^{12} , а их массы оцениваются в 10^{42} — 10^{45} г. Небольшие галактики встречаются гораздо чаще, чем гиганты. В окрестностях нашей Галактики обнаружены «карликовые» сферические галактики типа Скульптора, очень разреженные и сравнительно бедные звездами.

В 1924—1926 гг. Хаббл «разложил» внешние части спиральной туманности Андромеды на отдельные звезды, доказав тем самым существование гигантских звездных систем. В 1944—1945 гг. Бааде «разложил» на звезды ядро этой галактики и также доказал, что эллиптические галактики состоят из звезд без всяких следов газа и пыли. Но в последние годы Б. А. Воронцов-Вельяминов нашел некоторые эллиптические галактики, содержащие пыль и газ.

В 1944 г. Бааде построил диаграмму спектр — светимость для ярких звезд ядра туманности Андромеды и галактики Треугольника. Он обнаружил, что верхняя часть диаграммы совпадает с диаграммой для звезд шаровых скоплений нашего Млечного Пути. В то же время диаг-

рамма спектр — светимость для звезд в окрестностях Солнца оказалась совершенно отличной. Так звездное «население» галактик было разделено на два типа. Население I типа характерно лишь для спиральных ветвей галактик и всегда перемешано с населением II типа, которое характерно для эллиптических галактик. Интересно, что население других спиральных галактик вообще сходно со звездным населением Млечного Пути. Неправильные галактики целиком состоят из населения типа I.

Г. А. Шайн и В. Ф. Гаазе обнаружили в ближайших галактиках даже звездные ассоциации, сходные с ассоциациями нашего «звездного острова». Все это лишний раз доказывает, что не может быть и речи о какой-то исключительности Млечного Пути среди других галактик нашей астрономической Вселенной.

Кроме электромагнитных волн оптического диапазона галактики излучают в пространство еще и радиоволны. Как правило, радиоизлучение галактик довольно слабое, однако существуют системы, которые, подобно знакомой нам радиогалактике Лебедь А, обладают радиоизлучательной способностью в сотни тысяч раз большей, чем у обычных галактик.

В. А. Амбарцумян обнаружил у некоторых эллиптических галактик галактики-спутники, излучающие голубой свет. Предполагается, что свет голубых галактик обусловлен непрерывным излучением. Астрономы считают, что голубые галактики — это самые молодые из известных нам звездных систем.

Галактики проявляют интересную тенденцию образовывать различные скопления, объединяться в группы. Вероятно, звездные острова и рождались целыми архипелагами. Одиноких галактик очень мало. Разбросанность и крайняя неоднородность в распределении галактик — характерная черта структуры Метагалактики, которую можно лишь констатировать, но не объяснить.

Ближайшее к нам и наиболее заметное скопление галактик поперечником порядка миллионов парсек находится в созвездии Девы. Оно объединяет около пятисот систем. Скопление в Волосах Вероники состоит из 10 тысяч галактик. Некоторые специалисты полагают, что местная система галактик, в которую входят Млечный Путь, туманность Андромеды, Магеллановы облака и еще десять систем, является составной частью гигантской

«семьи туманностей». Французский астроном Ж. де Вокулер назвал ее Сверхгалактикой. Сверхгалактика сильно сплюснута и характеризуется крайней неоднородностью. В нее входит большое количество различных по величине галактических скоплений. Всего в Сверхгалактике тысячи, а может быть, и десятки тысяч галактик. Скопление Девы является центральным сгущением Сверхгалактики. Несколько меньшая Сверхгалактика обнаружена в южном полушарии неба. Поперечники сверхгалактик оцениваются в 30—40 мегапарсек.

Галактики часто образуют двойные и кратные группы протяженностью в 10—50 тысяч парсек. Та же галактика в туманности Андромеды представляет собой кратную систему из пяти членов. По мнению В. А. Амбарцумяна, большую часть кратных галактик составляют системы типа трапеции. Все это свидетельствует о том, что галактики образуются группами и что этот процесс протекает и в наше время.

Вероятно, в первой стадии жизни галактики характеризуются нестационарностью, что мы и можем видеть на примере радио- и голубых галактик.

Наконец, наблюдаемые в некоторых туманностях выбросы из ядер, а также факт интенсивного истечения газа из ядра нашей Галактики, где его должно быть немного, указывают на возможное существование в ядрах каких-то сверхплотных формаций, распад которых приводит к наблюдаемым явлениям.

Такое представление отвечает концепции В. А. Амбарцумяна, считающего, что не только развитие звезд, но и развитие галактик идет от сверхплотных состояний к менее плотным. Это так называемое современное наблюдательное направление в космологии галактик находится в противоречии с классическим направлением, развивающим идеи Дж. Джинса об образовании галактик путем сгущения разреженного газа. Гипотезы классического направления были выдвинуты Хойлом, Вейцзекером, Ортом, Баумом, Л. Э. Гуревичем, А. И. Лебединским.

Вопрос происхождения галактик пока остается открытым. Существовали ли галактики и скопления вечно (есть и такая точка зрения) или они возникли в результате конденсации первичного космического газа на ранней стадии эволюции мира, или, наконец, образовались в результате распада какого-то сверхплотного протовеще-

ства — все это еще далеко от ясности. О происхождении звезд астрономами накоплено несколько больше данных, чем о возникновении галактик, хотя есть основания предполагать, что обе эти проблемы находятся в теснейшей взаимосвязи.

Многие факты свидетельствуют о том, что в настоящее время процессы образования звезд протекают лишь в неправильных галактиках и в ветвях спиральных галактик. В них содержатся большие количества пыли и газа, из которых путем конденсации могут образоваться звезды (если только звезды образуются именно этим путем).

Высказывались интересные предположения, что спиральная галактика может представлять собой неправильную галактику, вращающуюся внутри эллиптической, чем и объясняется ее спиральная закрученность. Если сфотографировать в инфракрасных лучах такую типично спиральную туманность, как в созвездии Андромеды, то ее спирали становятся незаметными и сама галактика представляется небольшой сферической системой. Это указывает на то, что спиральные ветви, хорошо известны на обычных фотографиях из-за большой яркости звезд, возможно, представляют собой лишь второстепенные придатки. Это тем более интересно, что есть основания считать спиральные ветви сравнительно недолговечными. Спектральное исследование света от различных частей этих ветвей указывает на их вращение вокруг центрального ядра. А раз это так, витки спиральных ветвей неизбежно сольются, так как скорость вращения определяется расстоянием от центра и внешние области вращаются медленнее внутренних. Это согласуется с результатами наблюдений. Обычно удается обнаружить два-три полных витка ветвей, что, вероятно, свидетельствует об их сравнительной молодости.

Гипотезы классического направления не объясняют происхождения кратных систем. Многие исследователи, в частности шведский ученый Э. Холберг, высказывали мысли, что кратные системы представляют собой вообще результат случайных встреч ранее независимых галактик. С этим трудно согласиться хотя бы потому, что одиночные галактики (интересно, что среди звезд одиночные объекты преобладают) встречаются сравнительно редко. Б. А. Воронцов-Вельяминов на основании

своих исследований кратных и главным образом взаимопроникающих и взаимодействующих галактик полностью отвергает предположение о случайности образования галактических ассоциаций и утверждает их совместное образование. Он пришел к выводу, что в развитии галактик в гигантских масштабах проявляются какие-то совершенно неизвестные нам силы. Для нас его взгляды особенно интересны как первая попытка показать то новое качество, которое возникает при переходе от макромира к мегамиру.

Закон Ньютона или метagalактические силы?

Как и все коренные вопросы мироздания, спор о конечности или бесконечности физической Вселенной имеет истоки в глубокой древности. Аристотель считал физическую Вселенную конечной, а античные атомисты были уверены, что атомы заполняют все беспредельное пространство.

Создатель бессмертной поэмы «О природе вещей» Тит Лукреций Кар писал: «Пространство не имеет конца и предела и простирается бесконечно и одинаково во все стороны». В средние века, когда учение Аристотеля считалось полной и конечной истиной, идея о конечности Вселенной сделалась господствующей. Первым астрономом, заявившим, что звезды подобны нашему Солнцу и рассеяны в бесконечном пространстве, был англичанин Диггес (1576 г.). Эта идея была блестяще развита Джордано Бруно.

Ньютон в своей теории всемирного тяготения исходил уже из концепции бесконечной Вселенной. Он считал, что конечная Вселенная в бесконечном пространстве должна под действием собственных гравитационных сил слиться в монолитное тело. В письме к Бентли в 1692 г. он писал: «Но если материя равномерно распределена в бесконечном пространстве, она никогда не смогла бы собраться в единую массу, но часть ее собралась бы в одну массу, часть — в другую, с тем, чтобы образовать бесконечное количество крупных масс, рассеянных на больших расстояниях друг от друга по всему бесконечному пространству». Отсюда с неизбежностью вытекало, что закон тяготения должен быть всеобщим законом. Последующие исследования Гершеля доказали справедливость

всемирного закона за пределами Солнечной системы.

Впервые в правомерности распространения закона Ньютона на всю Вселенную усомнился немецкий физик Нейман (1874 г.). Десятилетие спустя его соотечественник астроном Зеелигер обратил внимание на слабое место ньютоновской системы. Основываясь на представлении о равномерном распределении материи в бесконечном евклидовом пространстве, Зеелигер принял, что вся материя находится в сфере радиуса R и ее масса пропорциональна объему этой сферы. В любой точке на поверхности сферы гравитационная сила пропорциональна квадрату радиуса. Если Ньютон прав и Вселенная бесконечна, рассуждал Зеелигер, то ее моделью может служить сфера бесконечного радиуса. Но тогда в точках, бесконечно удаленных от центра, должна существовать бесконечно большая гравитационная сила. А поскольку центр Вселенной можно выбрать в любом месте, где мы пожелаем, то и бесконечно большая гравитационная сила может быть в любом месте, зависящем от произвольно выбранного центра. Получался логический парадокс. Поэтому, чтобы его избежать, Зеелигер высказал предположение, что при очень больших расстояниях закон Ньютона нуждается в поправке.

Что же получается на сегодняшний день? Для систем, более сложных, чем двойные, в крайнем случае кратные звезды, справедливость закона тяготения не проверена. Уже для рассеянных скоплений, состоящих из нескольких десятков звезд, у нас нет никакой уверенности, что в этих системах кроме ньютоновских не могут проявляться и какие-то иные могущественные силы.

При попытке выяснить это астрономы встречаются с исключительными трудностями. Изучая звездные скопления и галактики, астрономы не наблюдают отдельных звездных орбит. В лучшем случае они знают лишь мгновенные скорости звезд в направлении луча зрения. Поэтому, выдвигая те или иные представления о происхождении, эволюции и динамике звездных систем, ученые вынуждены прибегать к различным представлениям, заимствованным из Солнечной системы или даже из микромира. А это значит неизбежно привносить специфические макро- и микросвойства в мегамир. Существует, например, объяснение гигантских звездных коллективов как совокупностей взаимно притягивающихся матери-

альных точек, сводящее общие свойства системы к взаимному тяготению ее точек. Встав на такую позицию, мы неизбежно утрачиваем те качественные особенности, которые проявляются в сумме отдельных единиц.

Широко известна аналогия между звездами и молекулами газа, по которой близкие прохождения звезд друг возле друга уподобляются молекулярным столкновениям, ведущим к перераспределению энергии между телами. Интересно, что одни исследователи наделяют такой звездный «газ» вязкостью, другие считают его невязким.

«Проверить все это трудно, — пишет Б. А. Воронцов-Вельяминов, и ссылка на наблюдаемые формы звездных систем (а не на процессы, которые мы не прослеживаем!) недостаточно надежна. Известно, что часто в одном и том же факте находят себе подтверждение самые различные теории».

Можно взять здесь для примера скопление горячих звезд в созвездии Единорога NGC2244, окруженное кольцевой газовой туманностью, в середине которой наблюдается темное пятно. Оно получило различные объяснения: 1. Звезды сгустились из газа в центре, где он был плотнее и где его уже не осталось. 2. Случайно проникшие в туманность звезды всосали в себя ее газ. 3. Звезды выбросили из себя газ, и он виден нам как удаляющийся от них. 4. Возникнув из космической пыли и метеоритов, звезды световым давлением и тепловой радиацией отгоняют от себя газ. 5. Звезды и газ возникли совместно и независимо друг от друга из какого-то дозвездного вещества. 6. Межзвездный газ невидим вследствие изменившихся вокруг звезд физических условий.

Так один и тот же факт может служить опытным подтверждением совершенно различных гипотез. Появившаяся в 1957 году в небе радиокometa Аренд-Ролланда, обладавшая двумя противоположно направленными хвостами, породила десятки совершенно разнородных объяснений невиданного феномена.

Еще Гершель и Росс описали загадочные туманности с двойными ядрами или соединенные между собой длинными перемичками. На протяжении десятилетий зарисовки, сделанные английскими астрономами, служили предметом разносторонних догадок и споров. Лишь в самые последние годы астрономы обратили внимание на га-

лактические объекты, отличающиеся самой причудливой гантельной формой.

Американский астроном Цвикки рассматривает различные длинные придатки и перемычки у галактик как межгалактическое вещество. Это дает ему основание утверждать, что пространство между галактическими системами не пусто и средняя плотность вещества в нем выше, чем это вытекает из учета одних лишь галактических масс.

Зато де Вокулер, обнаруживший у Большого Магелланова облака слабо светящийся придаток, обращенный прочь от Млечного Пути, склонен считать его не межгалактическим веществом, а противоположным выступом. Что означает собой это название, мы узнаем, познакомившись с теми удивительными выводами, к которым пришел Б. А. Воронцов-Вельяминов.

Ученого поразили эффекты, которые никак нельзя было объяснить действием закона тяготения. Ему показалось странным следующее. Если не могло быть никаких сомнений в действительном существовании хвоста у Магелланова облака или идущего прочь от Галактики придатка, то наличие перемычки между облаком и Галактикой нужно было еще доказать. На полученных Цвикки фотографиях галактических пар также наблюдались хвосты, а приливные выступы и перемычки либо совсем отсутствовали, либо были еле заметны.

В чем же дело? Если приливы вызваны гравитационными силами, то передний выступ не может быть меньше заднего, а если тела расположены достаточно близко, то будет наблюдаться даже обратный эффект. Оставалось предположить, что здесь действуют какие-то иные силы. Но какие?

Изучая атлас Маунт-Паломарской обсерватории, Б. А. Воронцов-Вельяминов обнаружил не менее пятисот взаимодействующих галактик, которые могли возникнуть только совместно, а не в результате какого-то случайного столкновения. Более того, причудливые формы, вызванные силами галактического взаимодействия, свидетельствуют о том, что хотя гравитационные силы здесь и имеют место, но видимые следы взаимодействия никак не являются их следствием.

«Нам представляется, таким образом, — пишет Б. А. Воронцов-Вельяминов, — что в мегамире впер-

вые обнаруживаются какие-то качественно новые свойства и формы взаимодействия крупных систем».

Эти новые свойства проявляются вместе с тяготением, но возможно, что они в некоторых случаях являются преобладающими. Какие же галактики можно считать взаимодействующими?

Первый признак взаимодействия — это искажение нормальной формы. Оно проявляется в виде всевозможных придатков, хвостов и перемычек. Иногда галактики-соседки как бы плавают в светящемся тумане, точно несколько планет в единой атмосфере. Магеллановы облака, например, плавают в невидимой атмосфере водорода. Но все это только видимые признаки взаимодействия. Если бы мы могли располагать более подробными сведениями о невидимом нейтральном водороде, то количество взаимодействующих галактик резко бы возросло. Если добавить к этому их явно неправильные формы, то мы можем говорить о них как о взаимодействующих. Высказываются даже предположения, что общее водородное облако окутывает и наш Млечный Путь, который отстоит от Магеллановых облаков дальше, чем они друг от друга. Данные радиоастрономии свидетельствуют о том, что тонкий слой диффузной газовой материи в нашей Галактике по отношению к плоскости ее экватора приподнят в сторону Магеллановых облаков и настолько же опущен с противоположной стороны. Такой перекося, вызванный несомненно галактическим взаимодействием, обнаружен и у других галактик.

Таким образом, совершенно очевидно, что взаимодействующие галактики — отнюдь не случайное явление, а какой-то закономерный этап эволюции мегамира. Если учитывать только случаи непосредственно видимого взаимодействия, то количество взаимодействующих галактик достигает 5% общего числа звездных островов. Это явное свидетельство их совместного образования.

Как правило, расстояния между взаимодействующими галактиками меньше их видимых размеров. Пока известен лишь один случай, когда межгалактическое расстояние было в несколько раз больше, чем диаметры взаимодействующих галактик.

Очень интересно еще одно обстоятельство. В ряде случаев наблюдаются галактические пары, которые, несмотря на близость, не обнаруживают какого-бы то ни

было искажения форм, тогда как гораздо более удаленные друг от друга объекты чудовищно искажены. Почему? Вероятно, мы здесь встречаемся со специфическими особенностями взаимодействий негравитационной природы.

Наиболее частыми случаями взаимного влияния отдельных частей взаимодействующих галактик оказывается наличие хвостов, зачастую превышающих даже диаметр самой галактики и направленных прочь от возмущающей системы. Соединяющая галактики перемычка, обычно мало заметная и короткая, зачастую отсутствует вовсе. В этом случае наблюдается некое подобие своеобразного «отталкивания» части вещества галактик. Перемычки и хвосты никак нельзя объяснить действием обычных гравитационных приливов, которые могли бы образовать лишь короткие конусовидные выступы, яркость которых увеличивалась бы к основанию, где больше материи.

Существование двойных перемычек опровергает приливную природу возмущений галактических форм. Они представляют собой тонкие волокна, протянутые между взаимодействующими галактиками. Форма волокон исключительно разнообразна. У одной и той же галактической пары волокна могут быть и прямыми, и причудливо изогнутыми, что никак нельзя объяснить действием приливов.

Иногда перемычка является одновременно и спиральной ветвью той или иной из взаимодействующих систем. Примером такого рода может служить близкая к нам пара галактик NGC5194-5, где большая спиральная галактика выбросила в меньшую галактику одну из спиральных ветвей. До последнего времени астрономы считали, что здесь имеет место случайное проецирование одной галактики на спиральную ветвь другой. Но Б. А. Воронцов-Вельяминов нашел еще несколько подобных систем. Он обнаружил также в перемычках между галактиками голубые сгущения, состоящие из горячих звезд.

Это свидетельствует, что перемычки и хвосты у галактик и их спиральные ветви состоят из одного и того же материала — из горячих звезд. К такому же выводу пришли одновременно и американские ученые Цвикки и Карпинтер, исходявшие из спектральных наблюдений.

Вероятно, подобное сходство составов не случайно. Оно говорит и о сходных условиях образования.

Реальные спиральные ветви построены в основном из звезд, а масса входящего в них газа составляет десятую долю. Правда, это объясняется тем, что газ в устойчивой газовой спиральной ветви после ее возникновения постепенно начинает конденсироваться в горячие звезды-гиганты, которые обрисовывают спиральную ветвь.

Став на такую позицию, мы должны были бы признать, что спиральные ветви примерно столь же старые, как и галактики. С другой стороны, будь спиральные ветви кратковременным образованием, их нельзя было бы обнаружить одновременно и у ближайших галактик, и у тех, которые мы видим в том состоянии, в котором они находились миллиарды лет назад. Допустить же, что спирали начали образовываться на периферии астрономической Вселенной и лишь недавно возникли вблизи нас, мы тоже не можем. Для этого нет никаких оснований. Нам остается поэтому предположить существование у спиральных ветвей и других многозвездных вытянутых образований какой-то особой вязкости, делающей их устойчивыми. К идее о большой вязкости галактических ядер пришел и Цвикки, изучая обнаруженные им кратные галактические системы. Об этом же свидетельствуют и другие факты.

Перемычки и хвосты найдены не только у спиральных, но и у эллиптических галактик, которые считаются очень старыми. Негравитационные взаимодействия были обнаружены и в особых группах галактик, получивших название семейств или гнезд.

Таким образом, изучая природу галактических взаимодействий, мы сталкиваемся с тем, что хотя составляющие галактики звезды, безусловно, связаны силами тяготения, сами галактики, возможно, связаны между собой какими-то неизвестными и могучими силами.

Следы дозвездной материи

Как и ядерная физика, современная внегалактическая астрономия находится в стадии «смены идей». Мы уже видели, как трудно, а порою и невозможно уложить открытые в последние годы факты в узкие рамки традиционных представлений. Ученые уже не могут обой-

тись без новых, непривычных идей, которые удовлетворительно описывали бы наблюдаемые космические явления.

Если мы рассмотрим все космогонические гипотезы прошлого, то увидим, как сквозь кажущееся их разнообразие проглядывает одна-единственная руководящая идея. Впервые она была высказана еще в глубокой древности и нашла свое отражение в библии. От Хаоса к Космосу, от беспорядка к порядку — таков был предполагаемый путь развития Вселенной. Естественно поэтому, что и процесс образования небесных тел, как мы это уже видели, тоже мыслился в виде конденсации какой-то первоначальной хаотической «туманности». По сути вся космология представляла собой собрание различных вариантов одной и той же схемы.

Развитие космических объектов идет от тел с малой плотностью к телам гораздо более плотным — это казалось само собой разумеющейся истиной. Непрерывно восходящая ветвь! А что потом? Потом нисходящий этап. Распад, который приводит небесное тело в первозданное состояние хаоса. Потом опять концентрация вещества и опять распад. И так во веки веков, неограниченно во времени, бесконечно в пространстве. Во всем этом была известная логика.

Некая прототуманность сгущается в галактики, в веществе которых возникают гигантские флуктуации — звезды. Огромные массы, сгустившиеся в звездах, приводят к возникновению термоядерных реакций. Звезда выбрасывает в пространство потоки энергии, мощные облака газа, ливни корпускул, которые становятся источником образования новых звезд.

Но постепенно такая «самоочевидная» схема круговорота материи начала казаться все более примитивной. И дело не только в том, что в ней не было места для планет, число которых в одной лишь Галактике измеряется миллиардами. Непонятно было, куда деваются звезды, до конца исчерпавшие все свои энергетические запасы.

Поскольку за миллионы лет жизни в стадии свечения звезды теряют лишь несколько процентов массы, неясно было, как «самоочевидные» схемы могут объяснить круговорот материи без учета этих «выгоревших звезд». Но, может быть, схема в общем верна и только недоста-

точно полна? Может быть, ее нужно дополнить выгоревшими звездами или еще какой-то формой вещества, например дозвездным веществом?

В 1947 г. В. А. Амбарцумян открыл уже знакомые нам звездные ассоциации и сделал вывод о совместном образовании составляющих их светил.

Однако вопрос о том, что же представляет собой породившая их дозвездная материя, оставался открытым. Ясно было одно, что обычные формы материи для этой роли не были пригодны. Так начался этот дальний поиск, поиск дозвездного вещества.

Звезды ассоциации испытывают влияние (оставим в стороне его природу) других звезд Галактики. Под действием этих возмущающих сил ассоциации сравнительно быстро распадаются. Поэтому если мы наблюдаем сейчас какую-нибудь ассоциацию, это означает, что она возникла не так уж давно.

Здесь повторяется, конечно, в миниатюре, картина разбегания галактик. Некоторые ассоциации весьма заметно расширяются. Их звезды разлетаются в стороны от центра со скоростями порядка 5—10 километров в секунду. Естественно, это наводит на мысль, что в прошлом звездные ассоциации были гораздо более компактны. Более того, возможно, что возникли они в очень ограниченной области пространства.

Скорости разбегания звезд позволяют оценить скорость распада ассоциаций. Произведенный астрономами подсчет дал ошеломляющий результат. Если Солнце существует по крайней мере несколько миллиардов лет, то звездным ассоциациям «всего» от одного до пяти миллионов лет. Как и в микромире, в мире звезд мы тоже встречаем «долгожителей» и «короткожителей».

Из чего же возникли звездные ассоциации эти небесные младенцы-близнецы?

Традиционное представление о туманности сразу же отпадает. Прежде всего, нет никаких прямых доказательств, что туманности могут, сгущаясь, превращаться в звезды. Зато известно, что, наоборот, многочисленные звезды, в том числе и звезды ассоциаций могут выбрасывать газ в пространство. В некоторых ассоциациях найдены симметричной формы туманности, расширяющиеся от центра ассоциации. Вопрос о том, являются ли эти туманности предтечами звездных ассоциаций или,

напротив, они возникают в процессе их жизни, возможно, не правомерен. Истина может лежать где-то посредине. Есть основание предполагать, что туманности и плавающие в них звездные ассоциации возникли совместно из какой-то устойчивой дозвездной материи, которая не являлась ни звездой, ни туманностью и еще никем пока не наблюдалась.

Протозвезды — так называет В. А. Амбарцумян тела, порождающие звездные ассоциации, — прежде всего должны иметь массу для создания туманности и нескольких десятков звезд. Будь эта масса в разреженном состоянии, она занимала бы весьма большое пространство и могла бы быть обнаружена в телескоп. Но поскольку этого нет, остается предположить, что протозвезды представляют собой хотя и тела исключительно массивные, но небольшие по размерам, а следовательно, необычно плотные. Кроме того, протозвезды должны обладать чудовищными запасами потенциальной энергии, за счет которой в результате мощнейшего взрыва могут образоваться звездные ассоциации.

Так появилась новая космогоническая концепция, диаметрально противоположная формуле «от Хаоса к Космосу». По мнению В. А. Амбарцумяна, путь эволюции звезды с момента рождения и до состояния полной «зрелости» — это путь от сверхплотного состояния материи к гораздо менее плотным ее формам.

Как мы уже видели, галактикам еще более, чем звездам, свойственно стремление к объединению. Правда, если мир галактик — мегамир — и повторяет законы, присущие звездным мирам, то на более высоком уровне, в гораздо более грандиозном и качественном новом масштабе. И если возраст «молодой» звездной ассоциации исчисляется миллионами лет, то возраст «молодых» галактик нужно исчислять уже миллиардами лет.

Астрономы обнаружили такие «молодые» галактики. Они встречаются группами, состоящими из нескольких галактик, образующихся вокруг общего центра масс. Влияние возмущающих воздействий настолько велико, что галактикам удается совершить лишь несколько обращений, после чего группа распадается и отдельные галактики «теряются» в общей массе, как это имеет место и у звездных ассоциаций. Аналогию между группами галактик и звездными ассоциациями можно распростра-

нить и далее, так как группам галактик тоже свойственно расширяться.

Группа галактик, известная под названием «квинтет Стефана», может служить примером такого расширения. Четыре из пяти составляющих ее систем удаляются от Земли со скоростью около 7000 километров в секунду, а пятая «убегает» от нас лишь со скоростью порядка 1000 километров в секунду. Это означает, что она удаляется от остальных со скоростью около 6000 километров в секунду! Поистине взрывоподобное расширение!

Цвикки исследовал группу из трех галактик, одна из которых «убегает» от других с еще большей скоростью. Известны и другие примеры взрывающихся систем.

Возможно, что именно те колоссальные галактические силы, которые обнаружил Б. А. Воронцов-Вельяминов, и служат причиной расширения отдельных галактических групп. Недавно были определены скорости движения в пространстве ближайших к нам галактик. Оказалось, что они никак не могут быть объяснены одним лишь законом всемирного тяготения. Галактики движутся под влиянием неведомых и колоссальных по масштабу действия сил.

Исходя из идеи совместного рождения взаимодействующих галактик, мы должны предполагать, что возникновение звездных островов тоже сопровождалось выделением какой-то ранее скрытой энергии. И в этом случае мы приходим к гипотетическому дозвездному, а может быть, и догалактическому веществу, сосредоточившему запасы исполинской энергии. Однако фактов, которые можно истолковать как непосредственное проявление дозвездной материи, не так уж много.

Прежде всего это странной формы галактика NGC4486 из созвездия Девы.

В ней обнаружена изверженная из галактического ядра мощная струя с чередующимися сгущениями. Голубой цвет этих сгущений свидетельствует об излучении, порожденном релятивистскими электронами. Если бы ядро галактики NGC4486 состояло только из звезд и туманностей, такой выброс был бы просто необъясним. Достаточно сказать, что масса голубых сгущений близка к массам... небольших галактик.

Возможно, именно в том далеком от нас звездном острове кипят и бушуют неведомые силы. Сконцентрирован-

ное в галактическом ядре дозвездное вещество клокочет в потоке релятивистских частиц, постепенно превращаясь в известные нам формы материи.

Нечто похожее можно видеть на фотографии галактики NGC3561, где изверженная струя тоже несет голубой сгусток массой в миллионы солнц!

Даже в центре ближайшей к нам туманности Андромеды астрономы обнаружили шаровидное ядро диаметром около 16 световых лет. Высказываются предположения, что масса этого ядра должна быть очень большой. В. А. Амбарцумян считает, что оно нацело построено из протозвезд, чем и объясняется его слабое, по сравнению с огромной массой, излучение.

Такая же загадочная сердцевина найдена и в нашей Галактике. Спектры галактических ядер свидетельствуют о движении каких-то газовых потоков, непрерывно извергаемых таинственными источниками. Здесь рождаются и рушатся поля, происходит постоянный переход одних форм материи в другие, формирование звезд и туманностей из дозвездного вещества.

В этих горнилах миров претерпевают превращения какие-то первоначальные тела, после чего в результате дальнейшего развития получают отдельные галактики.

В. А. Амбарцумян считает, что «выброс зародыша» какой-либо малой галактики из центрального ядра гигантской галактики может рассматриваться как частный случай такого деления.

Остатки звездного вещества в сердцевинах уже разделившихся галактик, возможно, дадут начало новым извержениям вещества, новым делениям.

Лишь невообразимо большие массы дозвездной материи могут сохранять известную стабильность, когда аккумулированная энергия, как бы замкнутая в себе самой, остается в скрытом состоянии. Это как бы «сверхкритическая» масса, настолько большая и плотная, что даже распад ее невозможен.

Когда «сверхкритическое» ядро почему-либо теряет свою стабильность и огромные потоки энергии со скоростью цепных процессов вырываются на свободу, то возникающие при делении осколки дозвездного вещества, постепенно остывая, превращаются в туманности и звезды.

Вот вкратце схема рождения миров из дозвездного вещества, предложенная В. А. Амбарцумяном. Она еще весьма приближительна, ее костяк не оброс живой плотью фактов и, как все наши представления, она верна лишь на определенной ступени познания. Развитие и торжество этой идеи явятся одновременно и ее гибелью. Она превратится лишь в какой-то частный случай, в более или менее вероятную деталь какого-то исполинского процесса еще большей сложности и глубины.

Какие реальные факты или теоретически достоверные представления позволяют нам говорить о сверхплотных состояниях вещества? С некоторыми из них мы уже знакомы. Это белые карлики, это модели нейтронных и гиперонных звезд.

Возможно, что гиперонные звезды могут внезапным скачком изменять свое внутреннее состояние, благодаря чему мгновенно высвобождаются необозримые океаны энергии. Правда, модели гиперонных звезд лишь отдаленно напоминают нам то, что мы представляем себе как протозвезды. Но мир един, и познание загадок сверхплотного состояния — это хотя и далеко не единственный, но верный путь к тайнам дозвездного вещества. Материя неисчерпаема и неисчерпаемы многообразные формы ее проявления. Поиск новых видов энергии и состояния вещества, поиск еще неведомых пространственно-временных форм — это дальний, нескончаемый поиск. Он начался еще на заре человечества и не будет ему конца в непрерывной эстафете поколений.

Ярче миллионов солнц!

В 1960 г. калифорнийские астрономы обнаружили, что координаты одного небесного радиоисточника, названного в третьем Кембриджском каталоге 3С48, в точности совпадают с координатами видимой в телескоп звезды, окруженной легкой туманностью. Получив спектр далекого солнца, ученые поразились совершенно необычной комбинации линий поглощения и излучения. Линии водорода, которые в обычных звездных спектрах столь интенсивны, на этот раз вообще отсутствовали. Это было совершенно непонятно.

В непосредственной близости от звезды не удалось обнаружить никаких других объектов, на которые можно

было бы возложить ответственность и за радиоизлучение, и за странный спектр. В тождественности звезды с радиоисточником ЗС48 сомневаться не приходилось. Астрономы решили, что им удалось открыть «первую настоящую радиозвезду». Соответствующее сообщение было отправлено в печать. Предположение, что ЗС48 является остатком вспышки более молодой и более удаленной Сверхновой, чем знаменитая звезда 1054 года, оставившая после взрыва Крабовидную туманность, казалось вполне логичным. Удивить во всяком случае оно никого не могло. Но загадка аномального спектра по-прежнему оставалась нерешенной.

Прошло немного времени, и еще один точечный радиоисточник ЗС286 пришлось отождествить с далекой звездой с совершенно необычным спектром. Когда сотрудники обсерватории Маунт Паломар после многочасовой экспозиции получили, наконец, этот спектр, то обнаружили в нем лишь две линии поглощения: одну слабую и широкую, другую исключительно яркую ($\lambda=5170 \text{ \AA}$). Линия при 5170 \AA никогда раньше не встречалась ни у Новых, ни у Сверхновых звезд, ни в планетарных туманностях, ни даже в спектре солнечной короны.

Время шло, и астрономы обнаруживали новые источники, совпадающие по местоположению с видимыми звездами. К двум уже известным прибавились еще два: ЗС147 и ЗС196.

Надежды на решение загадки появились с открытием нового точечного источника ЗС273, отождествленного с яркой звездой в созвездии Девы. Рядом со звездой удалось обнаружить и тоненькую светлую ленточку туманности. Серию эмиссионных линий в спектре радиозвезды сначала тоже долго не могли расшифровать. Но в марте 1963 г. молодой голландский астроном Маартен Шмидт высказал смелое предположение, что загадочные линии в спектре звезды на самом деле являются самой обычной бальмеровской серией водородных линий. Аномальное же их расположение объясняется тем, что они очень сильно сдвинуты к красному концу. Если это «обычное» красное смещение, вызванное эффектом Доплера, то звездный объект должен удаляться от нас со скоростью, близкой к 50 000 километров в секунду. Гипотеза о большом красном смещении сразу же позволила расшифровать и спектр ЗС48. Его загадочные полосы удалось

отождествить с запрещенными линиями неона и кислорода и двойной линией ионизированного магния. Скорость же убегания ЗС48 в этом случае получилась еще большей — 90 000 километров в секунду. Четверть скорости света!

Красное смещение красноречиво свидетельствовало, что радиозвезды являются внегалактическими объектами, удаленными на гигантские расстояния. Между нами и радиозвездой — ветераном ЗС48 — сразу же разверзлась бездна в 4 миллиарда световых лет! Это было поразительно. Ведь самая далекая из обнаруженных к 1963 году галактик отстоит от нас на 6 миллиардов световых лет. Но ведь это галактика, а ЗС48 — всего лишь звезда.

Сразу же возникли сомнения. Ведь красное смещение, как мы уже знаем, может быть следствием не только эффекта Допплера, но и эффекта Эйнштейна. Из теории относительности известно, что красное смещение линий в спектре звезды прямо пропорционально ее массе и обратно пропорционально радиусу. У обычных звезд такой эффект проявляется слабо, но обнаружить его все же можно. Но вот отличить доплеровское красное смещение от гравитационного нельзя даже в принципе. Правда, не так уж сложно вычислить ожидаемое эйнштейновское смещение. Особенно интересно оно у белых карликов, размеры которых малы, а плотности чудовищны. Еще большим должно быть гравитационное смещение у нейтронных и гиперонных звезд. Как мы знаем, эти звезды открыты пока только теоретиками. Астрономы их нигде еще не обнаружили. Отсюда возникало вполне правомерное предположение, что радиоисточники могут быть расположенными в нашей галактике нейтронными звездами.

Но эта мысль, высказанная американским астрономом Бербиджем, противоречила наблюдаемому факту. Речь идет о запрещенных линиях в спектре, которые образуются в условиях лишь очень низкой плотности. Ведь и запрещенными-то они названы лишь потому, что их невозможно получить в земных условиях. Низкие плотности, совершенно ясно, меньше всего подходят к условиям нейтронных звезд. Поэтому красное смещение запрещенных линий должно было бы оказаться меньшим, чем разрешенных. Но в обоих случаях смещение

оказалось одинаковым. Идея о нейтронных звездах отпала сама собой.

Итак, радиозвезды — внегалактические и очень удаленные от нас объекты. Этот вывод сразу же выдвинул радиозвезды на передний план. Они оказались самыми удивительными объектами во Вселенной. Преувеличения здесь нет.

По расстоянию и видимой звездной величине можно подсчитать полный энергетический баланс, излучаемый звездой. Светимость ЗС48 и ЗС273 оказалась в 50—150 раз больше светимости нашей Галактики, и в 10 раз больше, чем у наиболее ярких эллиптических галактик! Нет, мы не оговорились. Светимость поразительных звезд превосходит суммарную светимость миллионов солнц, входящих в Млечный Путь!

Радиозвезды излучают больше энергии, чем любой из известных нам во Вселенной объектов. И при этом они не потухают через несколько недель, подобно Сверхновым, а продолжают лить в пространство свой невероятный свет. Уже сейчас есть основания утверждать, что сияние ЗС273 не подвержено вековому уменьшению.

Какова же физическая природа изумительных звезд? Где кроется тайна их невероятного блеска? В те дни, когда астрономы продолжали еще спорить по поводу загадочных линий в спектрах радиозвезд, английские астрофизики Хойл и Фаулер выдвинули оригинальную гипотезу.

Астрофизики уже давно ожидали, что во Вселенной будут найдены процессы, сопровождающиеся выделением колоссальных количеств энергии. Наблюдение внегалактических радиоисточников, подобных известной уже радиогалактике Лебедь А, позволило доказать, что радиоизлучение вызвано магнитотормозным излучением космических электронов. Особенности спектра и величина потока излучения в радиодиапазоне позволяют определить количество энергии, запасенной в космических лучах и магнитном поле. Энергия эта колоссальна. Она измеряется примерно в 10^{60} эрг. Это в 10 раз больше, чем потенциальная энергия взаимного тяготения всех звезд нашей Галактики.

Высказывались мнения, что такая лавина энергии вызвана страшными космическими катастрофами. О столкновении галактик писалось в то время чуть ли не

каждый день. Но потом выяснилось, что причина появления радиоисточников кроется в чем-то другом, в каких-то неведомых нам процессах, протекающих в галактических ядрах.

Еще В. А. Амбарцумян, как мы помним, обращал внимание на эти ядра, видя в них ключ ко многим тайнам мироздания. Уже известный нам Бербидж даже высказал гипотезу, что в условиях, которые существуют в галактических ядрах, взрыв одной Сверхновой может вызвать настоящую цепную реакцию таких взрывов, что и станет причиной мощного радиоизлучения. Гипотеза очень интересная. Тем более что звездная плотность в ядрах галактик исключительно высока.

И вот Хойл и Фаулер показали, что цепной процесс возможен при условии, если взрывающиеся звезды очень близко расположены друг к другу, практически они должны даже касаться. Но если так, то звезды эти образуют единый объект. Так была выдвинута идея существования в ядрах галактик сверхзвезд.

В статье «О природе мощных радиоисточников» Хойл и Фаулер пишут: «Концепция объектов звездного типа с массой до 10^8 масс Солнца, конечно, странная, но сама природа рассматриваемого вопроса требует необычной физической ситуации».

Безусловно, идея сверхзвезды — вполне «безумная» идея. И в этом отношении она в духе века. Но, с другой стороны, она и вполне традиционна! В некотором роде она перекликается с представлениями об иерархии систем. Вспомним, что в конце восемнадцатого века многие были уверены, что в центре Млечного Пути существует громадное небесное тело. Но это, конечно, частности. Главное в том, что брошен вызов классике Джинса, который убедительно показал, что звезды в тысячи солнечных масс существовать не могут. А тут речь идет не о тысячах, о миллионах!

Сверхзвезды — неустойчивые образования. В результате их сжатия должно высвободиться колоссальное количество гравитационной энергии. Вероятно, что именно они и являются источниками загадочного радиоизлучения. Понятно поэтому, что термины «радиозвезда» и «сверхзвезда» быстро сделались синонимичными. Посмотрим теперь, какие были для этого основания. Ближайшая радиозвезда 3C273 отстоит от нас на 1,5

миллиарда световых лет. Полный поток излучаемой ею электромагнитной энергии составляет что-то около $2 \cdot 10^{46}$ эрг/сек. Это на 33 порядка превышает энергию излучения Солнца и в сто раз — всей Галактики. По изменению яркости ЗС273 (это явление было обнаружено одновременно советскими астрономами А. С. Шаровым и Ю. Н. Ефремовым и американцем Х. Шмидтом) удалось определить размеры звезды. Яркость ее заметно менялась иной раз даже в течение недели. Поскольку размер тел не может превышать произведения скорости света на наблюдаемый период изменения яркости, то перечник сверхзвезды составил $2 \cdot 10^{16}$ см. Это примерно одна световая неделя. Удалось определить и массу ЗС273 — 10^8 солнечных масс.

Гравитационные могилы

Попробуем разобраться теперь, как гравитационная энергия сжатия большой массы превращается в другие виды энергии. Ведь именно это превращение и позволило открыть нам такие далекие объекты, как сверхзвезды.

Есть основания считать, что сверхзвезды формируются из облаков разреженного газа, который сжимается в поле собственного тяготения. Если в такой колоссальной газовой массе отсутствуют сильные турбулентные движения, то она будет сжиматься исключительно быстро. И хотя при сжатии начинается разогрев вещества, ведущий к увеличению давления, сжатие все равно продолжается, и остановить его невозможно.

Прикинем, до каких размеров примерно должна сжаться газовая масса в 10^8 солнц, чтобы ее гравитационная энергия, трансформируясь в космическое излучение, могла обеспечить запас 10^{60} эрг. Конечно, трудно точно сказать, какой будет к. п. д. «переработки» гравитации в энергию космических лучей. Но мы не будем далеки от истины, взяв его равным 1%.

Потенциальная энергия тяготения массы M и радиуса R составит примерно

$$E_{pot} \approx \frac{GM^2}{R}.$$

Все параметры, кроме R , нам известны: G — постоянная тяготения Ньютона, E_{pot} мы задаемся — она со-

ставляет 10^{60} эрг, $M = 10^8$ солнц $= 2 \cdot 10^{41}$ г и к. п. д., как условились, 1 %.

Отсюда получаем величину $R \approx 2 \cdot 10^{13}$ см.

Но на расстояниях такого порядка потенциальная энергия тяготения сравнима с собственной энергией вещества, равной произведению массы на скорость света в квадрате. В этом случае мы уже не можем пользоваться теорией тяготения Ньютона, потому что эффекты общей теории относительности проявляются в самой полной мере.

Вот почему наша задача по необходимости сводится к случаю сильного гравитационного поля, обладающего сферической симметрией.

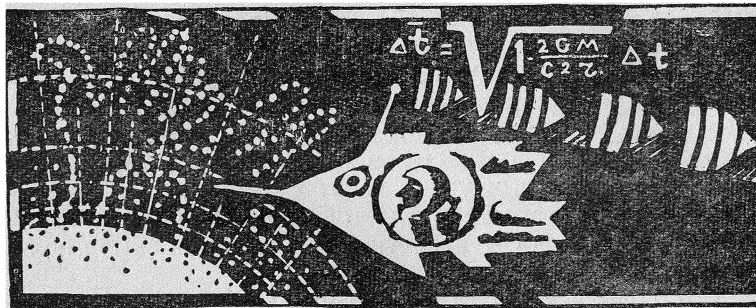
Вспомним, что, согласно теории относительности, тяготение является проявлением кривизны четырехмерного пространственно-временного многообразия. Это означает, что вблизи массивных тел геометрия пространства перестает быть евклидовой, а время течет иначе, чем вдали от них. Темп течения времени с приближением к такой массе замедляется.

Предположим, что для исследования подобной массы послан звездолет. Его команде дано задание каждую секунду посылать на Землю сигнал. И вот прошли долгие годы, пока эти сигналы летели сквозь пространство. Земля услышала, наконец, репортаж о подходе звездолета к колоссальной массе вещества. Но что это? Радиосигналы поступают один за другим не через секунду, как было условлено, а все реже и реже. Вот уже между двумя сигналами проходят минуты, часы, месяцы, века! А ведь астронавты аккуратно посылали их каждую секунду. Но... по своим часам.

Эту короткую историю, которая могла бы украсить любой фантастический роман, можно выразить в простой математической форме, без интегралов и тензоров, с применением аппарата «не страшнее» квадратного корня.

Итак, если удаленные от чудовищного гравитационного поля часы показывают, что прошло время Δt , то вблизи тяготеющей массы этому интервалу будет соответствовать $\bar{\Delta t}$:

$$\bar{\Delta t} = \sqrt{1 - \frac{2GM}{c^2 r}} \Delta t.$$



где r есть деленная на 2π длина окружности, описанной вокруг массы и проходящей через данную точку. Стоит обратить внимание, что r не равен радиусу этой окружности, как это может сразу же показаться. Дело в том, что евклидова геометрия в наших условиях, как уже говорилось, не применима.

И вот чем ближе r к гравитационному радиусу $R_g = \frac{2GM}{c^2}$, тем длиннее становятся временные интервалы, Δt , тем сильнее замедляет свой бег время. Сфера с $r = R_g$ называется сферой Шварцшильда.

Интересно, что с приближением к сфере Шварцшильда странности происходят не только с часами. Чем ближе r к R_g , тем сильнее растет гравитация. В пределе она стремится к бесконечности. Если, сжимаясь, тело достигло рокового гравитационного радиуса, то никакие силы в мире не смогут уже остановить дальнейшее сжатие. По выражению молодого советского ученого И. Д. Новикова, тело будет неудержимо падать само в себя — коллапсировать.

Вообразим себя в роли внешнего наблюдателя, следящего за звездой, которая сжимается до гравитационного радиуса. Только наблюдателя ожидает сильное разочарование. С приближением к сфере Шварцшильда время, как только что говорилось, замедляется. Поэтому с какой бы скоростью ни сжималась звезда, время для внешнего наблюдателя растягивается в бесконечность. Испускаемый сжимающейся сферой свет в один прекрасный момент вообще не дойдет до наблюдателя. Нам никогда не удастся увидеть звезды, сжавшейся до разме-



ров меньше гравитационного радиуса. Ее размеры лишь асимптотически подходят к сфере Шварцшильда за бесконечное время. Звезда все еще рождает в своих недрах лучистую энергию, но поле тяготения не выпускает ее наружу. Для всех эта звезда исчезла бесследно, хотя она еще живет бурной ядерной жизнью. С окружающим миром такая упавшая в самое себя звезда взаимодействует только через гравитационное притяжение. Недаром Я. Б. Зельдович назвал такую звезду «гравитационной могилой».

Расчеты показывают, что примерно через 15 минут после достижения сжимающейся звездой стадии, на которой начинают сказываться релятивистские эффекты, она исчезает для наблюдателя и превращается в гравитационную могилу.

Конечно, картина сжимающейся звезды величественна и грозна, но возникает некоторое недоумение при сопоставлении ее со сверхзвездами. Сверхзвезды-то мы во всяком случае видим! Они не только не упали сами в себя, но и щедро заливают Вселенную потоками энергии.

Но именно в этом и заключаются возникшие перед теорией трудности. Загадка сверхзвезд не будет решена, если нам не удастся понять, как энергия сжатия переходит в другие виды.

Остроумную идею в этой связи высказал американский ученый Мишель. Он допускает, что при сжатии сверхзвезды в ее высокотемпературных недрах в результате аннигиляции электронно-позитронных пар интенсив-

но рождаются нейтрино и антинейтрино. Неуловимые частицы легко уходят из страшного плена чудовищной звезды. Для них она «прозрачна» почти так же, как пустота. Они-то и уносят с собой весьма солидную долю массы сверхзвездного ядра. Тяготение ядра падает, и давление, которое раньше уравнивало гравитацию, начинает теперь распиравать внешнюю оболочку сверхзвезды.

Так происходит взрыв, который и высвобождает энергию, измеряемую невероятным числом в 10^{60} эрг.

Однако Я. Б. Зельдович пришел к выводу, что приведенная схема вряд ли реальна из-за эффектов общей теории относительности, которые она не учитывает.

Гигантские массы достигают размеров сферы Шварцшильда, обладая сравнительно низкой плотностью. Так, у сверхзвезды в 10^8 солнечных масс плотность должна быть не выше 2 г/см^3 . Это лишь вдвое превышает плотность нашего светила. А при температуре порядка $0,5 \cdot 10^9$ °К радиус сверхзвезды такой плотности превращается в гравитационный без предсказанного массового бегства нейтрино. Частицы уносят лишь триллионные доли массы. При этом условии нечего и думать, что звезда сможет сбросить внешнюю оболочку.

Путь к решению проблемы был намечен Я. Б. Зельдовичем. Основная суть его идеи сводится к следующему. Схлопнувшаяся звезда связана с внешним миром только полем тяготения, которое вблизи R_g исключительно велико. Поэтому можно ожидать, что невидимое чудовище начнет притягивать окружающее вещество. Это могут быть остатки оболочки, выброшенные на ранних стадиях эволюции звезды плазменные всплески. Падая на звезду, этот дождь материи постепенно породит излучение колоссальных энергий, перед которым выделение энергии при ядерных реакциях покажется детской забавой.

Академик В. Л. Гинзбург показал, что на всех этапах жизни сверхзвезд особую роль играет магнитное поле. Дозвездный газ, как мы знаем, представляет собой высокоионизованную плазму. Если до начала сжатия в этой плазме было такое же магнитное поле, как в обычном межзвездном газе, то у поверхности уже сжавшейся звезды оно возрастет до миллиардов эрстед. Чтобы осоз-

нать такую исполинскую напряженность, достаточно вспомнить, что магнитное поле нашей планеты не достигает и одного эрстеда. Мы прекрасно знаем, к каким величественным «макропроявлениям» приводит этот один эрстед. Что же можно сказать тогда о поле, в миллиарды раз более мощном?

Впрочем, на самых последних стадиях сжатия магнитное поле звезды затухает подобно видимому свету. Природа обоих явлений одна — электромагнитное поле. Тем не менее невероятное усиление поля в процессе рождения гравитационной могилы наводит в околозвездной плазме такой гидромагнитный режим, при котором заряженные частицы ускоряются до самых высоких скоростей. Так рождаются космические лучи, посылающие к нам радиоволны. Это гравитационный космический ускоритель невиданных мощностей. Перед ним бледнеют любые катаклизмы, любые столкновения миров, существующие и воображаемые катастрофы. Сверхзвезда — явление из ряда вон выходящее и уникальное. Недаром ученые ждут от нее ответов на многие из тех вопросов, которые раньше ставились лишь перед Вселенной в целом.

Но на сегодняшний день мы не можем с достаточной уверенностью говорить о тех явлениях, которые протекают в раскаленном шаре, облететь который даже со скоростью света можно лишь за месяц. Гипотез выдвигается много. И спорят вокруг этих гипотез тоже много и горячо. На вооружение берется весь арсенал современной теоретической физики.

Неудивительно поэтому, что благородное «безумие» физики двадцатого века «заразило» и смежные науки. Одной из первых жертв этой «эпидемии» стала, конечно, астрофизика.

Известные советские астрофизики И. С. Шкловский и Н. С. Кардашев предположили, что высвобождающаяся в процессе гравитационного коллапса энергия выделяется в виде гравитационных волн, о которых мы уже успели кое-что рассказать. Стоит припомнить, пожалуй, что мощность гравитационных волн всей нашей Солнечной системы соизмерима разве что со средней электролампой. Но из этого не следует еще никаких выводов. Ведь и магнитное поле Земли, как мы видели, не идет ни в какое сравнение с исполинской магнитной

мощью сверхзвезд. То, что нам не удастся зарегистрировать в масштабах Солнечной системы, на галактических просторах становится источником явлений, которыми можно любоваться на миллиард парсеков в окружности! Если в сверхсильном гравитационном поле на расстоянии нескольких шварцшильдовских радиусов от звезды находится какой-нибудь сгусток вещества, то при обращении вокруг центрального тела он будет излучать гравитационные волны невиданной мощности. Я. Б. Зельдович и И. Д. Новиков показали, что находящееся на спиральной орбите тело будет приближаться к сжатой звезде вплоть до расстояния в $3R_g$, а затем просто упадет на ее поверхность.

Гравитационные волны невидимым ураганом несутся от сверхзвезд по Вселенной. Но вряд ли нужно преувеличивать их истинную роль. По сравнению со всеми известными нам процессами энергия таких волн тяготения колоссальна. Но в масштабах сверхзвезды, вероятно, даже она теряется. И. Д. Новиков попробовал подойти к загадке сверхзвезд с несколько иных, пожалуй, более общих позиций. Он попытался сначала оценить плотность вещества в Метагалактике, точнее «палеоплотность», потому что речь идет о той Метагалактике, которая была 10 миллиардов лет тому назад. Мы уже знаем, что это можно сделать. Более того, мы даже априорно можем угадать результаты такой оценки. Действительно, коль скоро разговор заходит о «молодости» Вселенной, то, памятуя об исходном сверхплотном состоянии, мы можем смело сказать, что плотность вещества была тогда очень велика.

Советский исследователь сделал чисто умозрительное допущение, что условия расширения Вселенной могли быть неравномерными. Отсюда уже с логической необходимостью вытекало, что часть вещества в виде отдельных ядер могла отстать от общего процесса и на некоторое время «уклониться» от расширения. Из обычного расширяющегося вещества сформировались галактики и звезды. И лишь значительно позднее, для каждого в свой срок, стало эволюционировать законсервированное вещество ядер. Мы сейчас видим галактических «динозавров», которые с некоторым запозданием, подчиняясь общему закону, выходят из-под своих сфер Шварцшильда, чтобы принять, наконец, участие в общем расширении.

Математический аппарат теории относительности допускает такую возможность. Законсервированные ядра — это такие же гравитационные могилы, как и сколлапсировавшие звезды. Просто И. Д. Новиков подходит к проблеме с противоположного конца. Другие исследователи считают, что сфера Шварцшильда — будущее сверхзвезды, а он настаивает на том, что — прошлое. С чисто философской точки зрения такой подход вполне правомерен. Развитие идет и по восходящей, и по нисходящей линиям. Когда внешнее вещество падает в поле тяготения расширяющегося ядра, оно сталкивается с веществом, выходящим из-под сферы Шварцшильда. При этом выделяется та колоссальная энергия, благодаря которой мы, собственно, и открыли сверхзвезды.

Гипотеза Новикова по сути развивает уже знакомую нам космологическую концепцию Амбарцумяна об эволюции сверхплотного дозвездного вещества.

Необычайно интенсивное радиоизлучение сверхзвезд не дает покоя ученым. «Объяснить сверхзвезды — дело нашей чести», — сказал один молодой участник специального симпозиума, состоявшегося в США в декабре 1963 г.

Познакомимся еще с тремя новыми гипотезами происхождения этих квазизвездных источников, или как их еще называют, квассаров.

Сотрудник Принстонского университета Филд исходит из того, что сверхзвезды (квассары) являются на самом деле нормальными сферическими галактиками, которые находятся на ранних стадиях эволюции. Подобная галактика могла бы образоваться из разреженного водородного облака, масса которого составляет примерно 10^{11} звезд. Сначала сжатие такого облака могло протекать замедленно. Потом на определенной стадии уплотнения процесс ускорился, в результате чего облако оказалось сжатым до минимального радиуса в несколько сот световых лет. Такой достаточно плотный и компактный по галактическим масштабам объект мог уже оставаться сравнительно стабильным. Но рано или поздно в таком зародыше сферической галактики начнется конденсация газа в звезды. Этот поистине глобальный процесс охватит все облако, которое начнет постепенно расширяться.

Из всех 50 миллиардов звезд, которые могут образоваться на этой ранней стадии, большинство будет при-

надлежать к наиболее яркому типу. Это означает, что их вещество выгорит почти одновременно. После этого они в конце концов превратятся в Сверхновые. Подобный процесс займет сравнительно короткий интервал времени — миллион лет. Выход же энергии при взрыве всех Сверхновых и составит как раз магическую цифру 10^{60} эрг.

Каждый год будут взрываться примерно 60—140 Сверхновых, и загадочные изменения яркости радиозвезд (интенсивность излучения которых может падать на ± 40 процентов) легко объяснить именно этими статистическими флуктуациями. Когда Сверхновых взрывается больше, мы видим кваassar ярким, когда же в ежегодном плане взрывов наступает некоторый спад, наши приборы фиксируют ослабление светимости.

В отличие от этой весьма консервативной гипотезы, сделавшей бы честь любому ученому прошлого века, идея нью-йорского астрофизика Гофмана выглядит совершенно фантастично. Если бы в данном повествовании не было уделено внимание отрицательным энергиям и отрицательным массам, гипотезу Гофмана вряд ли удалось бы понятно изложить. Его статья с очень красноречивым заголовком «Отрицательная масса — источник энергии радиоизлучающих квазизвезд» получила высшую награду на ежегодном конкурсе фонда исследований по гравитации.

Вспомним, что согласно уравнениям Эйнштейна, да и уравнениям Ньютона тоже, взаимное притяжение испытывают и положительные, и отрицательные массы. Одноименные массы притягиваются, разноименные — отталкиваются в полном противоречии с законами электростатики. Основываясь на общей теории относительности, Гофман предположил, что оба типа масс могут излучать гравитационные волны. При этом, вне зависимости от «знака заряда» породившей их массы, гравитационные волны будут переносить только положительную энергию. Из этой особенности гравитационных волн следует очень глубокий и далеко не очевидный вывод: частица положительной массы может превратиться в частицу отрицательной массы. Для этого ей необходимо излучить в виде гравитационных волн положительную энергию, эквивалентную большей положительной массе, чем ее собственная.

Отсюда следует, что дальнейшее излучение гравитационных волн должно приводить ко все большему возрастанию отрицательной массы.

Гофман предполагает, что законы сохранения препятствуют перезарядке частиц положительной массы в частицы отрицательной массы. Но, как говорится в статье, «законы симметрии могут нарушаться при весьма необычных и предельных условиях внутри квазизвезды». Такое нарушение может явиться следствием исключительно плотной упаковки частиц или очень высокой гравитации. А может быть, и того и другого одновременно.

Сверхплотная упаковка, например, может привести к тому, что под воздействием титанических ядерных сил частицы положительной массы начнут излучать гравитационные волны. Такое интенсивное гравитационное излучение само по себе могло бы явиться тем «нарушителем симметрии», который позволяет частицам положительной массы перезарядаться в отрицательные. В процессе образования соответствующих отрицательных масс могла бы выделяться ураганная энергия, конечно, положительная. «Именно вследствие чудовищности энергий квазизвезд надо отказаться от обычных объяснений и именно поэтому заслуживает серьезного рассмотрения идея отрицательных масс» — так заканчивает свою работу исследователь, который работал в свое время бок о бок с Эйнштейном и Инфельдом.

Совершенно необычную гипотезу выдвинул сотрудник Лос-Аламосской лаборатории Террел. Если рассматривать историю сверхзвезды как запутанное криминальное дело, Террел подошел к нему по меньшей мере как Шерлок Холмс или честертоновский патер Браун. В его гипотезе привлекают прежде всего неожиданность и нетрадиционность мышления.

Прежде всего он не согласился с мнением всех специалистов, занимающихся сверхзвездами. Как мы видели, несмотря на обилие противоречивых и даже взаимоисключающих гипотез, в одном сходятся все: сверхзвезды — явно очень далекие внегалактические тела. Против этого-то и восстал Террел. Он, считает, что эти объекты ближе к нам, чем другие галактики, и расположены они между Млечным Путем и туманностью Андромеды. Автор доказывает это парадоксальное суждение следую-

щим образом. Сразу же после открытия квазизвезд выяснилось, что интенсивность их излучения может меняться с исключительно большой частотой. Такие вариации свидетельствуют, по мнению Террела, о малых размерах квазизвездных объектов. Они вряд ли могут быть больше Солнечной системы. Но если все это так, то скорость сверхзвезд по отношению к нашей и ближайшим галактикам должна быть исключительно велика. А это, в свою очередь, может быть лишь последствием гравитационного коллапса, который пережили когда-то наш Млечный Путь и ближайшие к нему системы.

Свидетели рождения Вселенной

Но сколь ни хитроумна и красива гипотеза Террела, от нее приходится отказываться раньше, чем от какой бы то ни было другой. Каждый день мы получаем новые доказательства того, что сверхзвезды очень далеки от нас. Еще в 1964 г. самым удаленным кваassarом считался 3C147. Его скорость составляет свыше 40% скорости света, что соответствует удалению на миллиарды световых лет. Но не прошло и нескольких месяцев, как выяснилось, что 3C9 убегает от нас со скоростью 240 000 км/сек, что составляет уже 80% скорости света. По оценке Маартена Шмидта, свет, пришедший к нам сейчас от объекта 3C9, родился всего через 2—3 миллиарда лет после возникновения нашей Вселенной, возраст которой, как мы знаем, измеряется в 10—15 миллиардов лет.

Американец Сэндидж с помощью пятиметрового телескопа обнаружил новый класс объектов, которые похожи своим оптическим излучением на кваассары, но почти не излучают радиоволн. Сэндидж долго сомневался, прежде чем дать звездным неопитам какое-то имя. В конце концов он назвал их «голубыми звездными объектами», или, сокращенно, ГЗО (по-английски BSO).

Кстати сказать, эти голубые светила давно известны астрономам. Но до настоящего времени никто не подозревал, что они так далеки от нас. Считалось, что это обычные голубые звезды, которые обитают во внешних областях Млечного Пути. Но кропотливые спектральные исследования показали, что ГЗО обладают красным сме-

щением, которое сравнимо с красным смещением сверхзвезд.

Измерив скорости нескольких голубых объектов, Сэндидж и Шмидт обнаружили, что ГЗО-1, к примеру, удаляется от нас со скоростью 200 000 км/сек, уступая первенство лишь такому непревзойденному гонщику, как ЗС9.

Исследования ГЗО обещают много интересных неожиданностей. Этих загадочных объектов по крайней мере в 500 раз больше, чем квазаров. По оценке Сэндиджа должно существовать свыше 100 000 ГЗО вплоть до 19-й видимой величины. Они столь многочисленны и так далеко расположены, что с их помощью можно будет в ближайшие годы определить такие эффекты, как кривизна пространства и замедление расширения Вселенной. Короче говоря, речь идет о самых коренных проблемах науки. Некоторые исследователи уже сейчас склоняются к тому, что расширение нашей предположительно замкнутой Вселенной постепенно замедляется. Это дает основания предположить, что настанет время, когда самые удаленные галактики тронутся в обратный путь и мир начнет сжиматься.

Вероятно, проверить это можно будет после тщательного исследования тысяч «голубых звездных объектов». Охота за самыми далекими метагалактическими целями сейчас в полном разгаре. Ученые лихорадочно ищут «свидетелей» взрыва сверхплотной Вселенной или, как еще говорят, «большой вспышки». Последние эксперименты, проведенные в лаборатории компании Белл, позволили, по-видимому, поймать то первичное излучение, которое выделилось 10—15 миллиардов лет назад. Признаки излучения «большой вспышки» были обнаружены в серии прецизионных опытов по регистрации 7,3-сантиметровых волн. Экспериментаторы Пенезиас и Уилсон ставили своей целью учесть все существующие источники радиопомех вне зависимости от того, где эти источники прячутся: в глубинах космоса или в ядре Земли. Эти исследования, проведенные на большой «раковинно-образной» антенне, используемой в системе радиосвязи через искусственные спутники, и позволили обнаружить необъяснимый остаточный радиощум. Как это часто бывает, открытие пришло случайно. Его не ждали, на него не надеялись, поскольку искали совсем другое. Натол-

кнувшись на непонятное явление, исследователи стали искать ему естественное объяснение. Они обратились к недавно опубликованной статье, в которой высказывалась гипотеза о существовании «вездесущей» радиации, длины волн которой простираются до 7,3 см.

Авторы статьи — сотрудники Принстонского университета — утверждали, что во время «большой вспышки» температура вещества и излучения превышала 10 миллиардов °К. При столь высокой температуре вещество будет испускать и поглощать излучение примерно с одинаковой скоростью. Но после того, как температура упала примерно до 100 миллионов °К, излучение могло «высвободиться» из вещества и унести на просторы молодой Вселенной. В этом случае можно рассчитывать на то, что оно все еще странствует по космическим просторам. Первоначальный состав этого «первородного» излучения должен был определяться преимущественно гамма-квантами. Однако в условиях непрерывного расширения пространства длина волны фотонов должна была сдвинуться в сантиметровый диапазон. Излучение как бы претерпело охлаждение, подобное тому, которое испытывает раскаленная струя газа, попадающая из двигателя в расширяющееся сопло.

Принстонские исследователи только еще подумывали об экспериментальной проверке гипотезы, как пришло сообщение о работах фирмы Белл. Впрочем, окончательные выводы делать еще рано. Подождем результатов дальнейших опытов. Впрочем, одно уже на сегодня ясно — пойманное Пенезиасом и Уилсоном излучение действительно является первородным.

Прежде чем закончить это небольшое отступление от истории сверхзвезд, мысленно возвратимся к предыдущим страницам, которые рассказывали о рождении Вселенной. Наверное, даже авторы этих интересных гипотез не предполагали в свое время, что экспериментальная проверка так близка. И вот теперь совершенно неожиданно выясняется, что первые опыты в этом направлении уже сделаны. И притом кем! Радиоинженерами, озабоченными ориентацией спутников по неподвижным радиообъектам!

Поиски отдельных людей могут быть случайными. Но общий путь науки диалектически объединяет эти случайности в проявление закономерности. Вот почему не

существует в наше время изолированных научных редутов. Все отрасли науки стали сейчас взаимозависимыми. Успех одних отраслей может быть лишь следствием успеха других, часто весьма удаленных.

Не случайно поэтому в годы, которые стали уже историей и никогда не повторятся, молекулярная биология нашла «убежище» в ведущих физических и химических институтах нашей страны.

С радиозвездами в известной мере связана одна шумная сенсация, взволновавшая сначала Москву, а затем и весь мир. Автору позвонила известная журналистка.

— Ты ничего не знаешь? — голос ее звенел восторгом первооткрывателя.

— Нет.

— Нет?

— Нет.

— Получена информация от внеземной цивилизации!

— ???

— Поезжай немедленно в ГАИШ. Там состоится пресс-конференция. Все зарубежные корреспонденты уже отправились.

Вы, наверное, уже догадываетесь, о чем идет речь. Материалы об интересном открытии советских астрономов поместили тогда все газеты. Но там, где очаровательная представительница нашей прессы явно употребила «!», ее коллеги предпочли «?», или даже «??». И это понятно. Одно дело прокричать в трубку: «Получена информация от внеземной цивилизации!», другое дело поместить об этом сообщение в газете. Тем более, что пресс-конференция в Астрономическом институте несколько охладила репортерский пыл. Недаром заголовки, появившиеся назавтра в некоторых газетах, являлись вариантами: «Сигналы внеземной цивилизации? Не будем спешить с выводами, говорят ученые».

«Сигналы внеземной цивилизации» были пойманы антенной радиотелескопа. Это произошло отнюдь не случайно, потому что поиски переменных радиоисточников идут постоянно и повсеместно. Интерес к таким исследованиям диктовался и теоретическими соображениями, и рядом наблюдаемых феноменов, одним из которых является уже известный переменный блеск сверхзвезд ЗС273 и ЗС48 в оптических лучах. Что же касается теоретических соображений, то о них уже было упомянуто,



когда рассматривалась проблема радиоизлучения на волне 21 см. Кроме того, сравнительно недавно Н. С. Кардашев высказал очень интересное предположение, что высокоразвитые цивилизации могут посылать в пространство радиосигналы исключительной силы. По мнению Н. С. Кардашева, радиоисточники искусственного происхождения должны отличаться радиоспектром, имеющим максимальную мощность в сантиметровом диапазоне, и малыми угловыми размерами.

Американские астрономы обнаружили в свое время два исключительно интересных космических радиоисточника, которые получили наименования СТА21 и СТА102. Любопытно, что максимумы мощности в их спектрах приходились как раз на сантиметровые области, а угловые размеры даже не удалось определить, настолько они оказались ничтожными.

Группа советских астрономов под руководством Г. Б. Шоломицкого обнаружила, что радиоизлучение СТА102 носит переменный характер. Серия специально поставленных измерений подтвердила, что радиопоток СТА21 остается постоянным, а у СТА102 периодически меняется со временем.

Казалось бы, СТА102 удовлетворяет всем требованиям гипотезы Кардашева и является поэтому искусст-

венным источником. Но делать такие выводы нужно лишь в самую последнюю очередь, когда явление не может быть объяснено никакими другими причинами. Иначе наука перестанет быть средством познания. Она утонет в марсианских каналах, космических пришельцах, снежных людях и тунгусских космических кораблях. Все это, конечно, очень волнующие и интересные проблемы, но при обсуждении научных результатов они неуместны. Наука, конечно, не отказывается от фантазии. Но «фантастическая компонента» современного естествознания целиком исчерпывается «безумными» идеями. Традиционные же идеи фантастики слишком мелки, слишком нефантастичны для науки.

Так не получилось и не должно было получиться сенсации из очень интересного и все еще загадочного явления, открытого в Москве.

Очень много ждут астрономы от результатов наблюдения слабой звезды 17,5 звездной величины, которую обнаружили на месте радиисточника СТА102. Спектр звезды позволит судить о том расстоянии, которое отделяет ее от нас. Если окажется, что СТА102 расположен за пределами нашей Галактики, то ученым предстоит затратить много усилий, чтобы определить тип этого радиисточника.

Что же касается внеземных цивилизаций, то пусть читатель обратится к книге И. С. Шкловского «Вселенная, жизнь, разум». Автор вынес из нее убеждение, что наши шансы на встречу с чужим разумом ничтожны.

Кое-что о галактических взрывах

В последние годы астрофизики все чаще говорят о титанических взрывах, которые потрясают галактические ядра. Высвобождаемой при этом энергии вполне достаточно, чтобы объяснить причину высоких энергий космического излучения. Наблюдения показали, что в том месте Млечного Пути, где мы видим теперь эллиптическую галактику, примерно 1,5 миллиона лет назад произошел грандиозный взрыв! Взрыв миров! Вот почему возникновение космических лучей при галактических взрывах получило сейчас известное подтверждение. Это уже гипотеза, опирающаяся на некоторые данные радиоастрономий.

После открытия знакомого нам Лебедя А радиоастрономы обнаружили и нанесли на карту более 3000 дискретных радиоисточников. Это число велико, но оно будет и далее расти с рекордной быстротой. Завершение наблюдений, которые интенсивно ведутся сейчас во всем мире, даст, по оценкам специалистов, адреса уже 100 000 мощных небесных радиостанций.

С тех пор как Минковский и Бааде показали, что дискретные радиоисточники Лебедь А и Центавр А совпадают с гигантскими галактиками, было открыто свыше 100 радиогалактик. Большинство остальных источников тоже скорее всего связано с радиогалактиками или со сверхзвездами, которые либо слишком далеки, чтобы быть видимыми, либо обладают светимостью, которую не может уловить пятиметровый глаз телескопа.

В 1950 г. шведские астрофизики Альфвен и Херлофсон дали первую физическую схему рождения галактического радиоизлучения. Она была развита в работах И. С. Шкловского и получила широкое признание. Мы уже говорили, что при взаимодействии релятивистских электронов с магнитным полем могут генерироваться радиоволны. Вращаясь вокруг силовой линии, электрон ускоряется и отдает избыток энергии в виде электромагнитных квантов. Это явление аналогично возникновению излучения в синхротроне. Поэтому испускаемые релятивистскими электронами волны часто называют синхротронным излучением. Частота синхротронного излучения определяется энергией вращения частиц и силой магнитного поля. Радиоволны возникают, когда энергия электронов достигает 1—25 Гэв, при интенсивности поля в одну миллионную гаусса. Все эти условия полностью соблюдены в радиогалактиках. Больше того, электроны с энергией порядка 25 Гэв — одни из самых «слабых». В «кипучей» радиогалактике М87 электроны мчатся со скоростями, недоступными ни одному ускорителю. Энергия их составляет по меньшей мере 10 000 Гэв.

Такие сверхбыстрые частицы способны прорваться сквозь преграды магнитного поля радиогалактики и улететь в пространство. Возможно, что они-то, совместно с коллегами, возникшими при таких же взрывах в ядре нашего Млечного Пути, и составляют тот поток космического излучения, который врывается в нашу атмосферу.

Если учесть плотность распределения радиогалактик в пространстве и время их существования, то можно будет предсказать не только интенсивность наблюдаемого космического излучения, но и энергии наиболее быстрых частиц. Конечно, для этого нужно дать точную оценку выхода энергии и определить в общей сумме быстрых частиц долю, которая приходится на нашу собственную звездную систему.

Предположение, что источником энергии синхротронного излучения являются галактические взрывы, получало все больше подтверждений. Время только уточняло эту схему, не затрагивая ее физических основ.

В 1953 году сотрудники обсерватории Джодрелл Бэнк установили, что знаменитый Лебедь А состоит из двух дискретных радиоисточников, разделенных расстоянием в 100 000 световых лет. Теперь ясно, что такой «радиодублет» — отнюдь не исключение, а скорее правило в мире радиогалактик. Он обусловлен двумя струями суперрелятивистских частиц, выбрасываемыми взорвавшейся миллионы лет назад «материнской» галактикой. По закону сохранения импульса эти струи должны уноситься от центра в противоположных направлениях. В такой струе — ведь она уносит с собой часть магнитного поля галактики — должно возникнуть синхротронное излучение. Особенно мощным оно будет на самом конце струи, где магнитные силовые линии сильно сжаты. Возможно, именно такие процессы и лежат в основе радиодублета. И то, что мы принимаем за два отдельных радиоисточника, в действительности представляет собой лишь электронное неистовство на концах чудовищных газовых струй. И все же до самого последнего времени трудно было окончательно принять идею взрывающихся галактик. Величественнейшую из мировых катастроф необходимо было увидеть своими глазами.

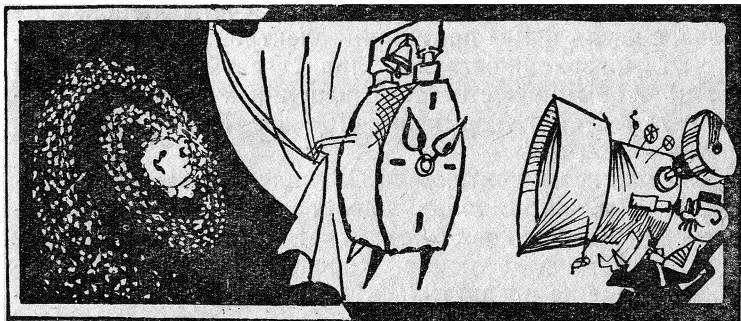
В начале 1964 года сотрудники американской Национальной радиоастрономической обсерватории Грин Бэнк обнаружили группу видимых в оптическом диапазоне галактик, сгруппировавшихся вокруг гигантской спиральной туманности M81. Долгое время с галактикой M81 отождествляли слабый радиоисточник 3C231. Однако с помощью современных приборов удалось показать, что радиоисточник совпадает не с M81, а с другой галактикой, M82, имеющей весьма необычную форму. M81 и

М82 — соседи. Но это не мешает им быть непохожими друг на друга. Фотографии 1910 г. показывают, что внутри М82 нельзя различить ни одной отдельной звезды. Это само собой любопытно. Разделяющее М82 и Землю расстояние не мешает различать отдельные звезды. Удается, как говорят, «разрешить» на отдельные светила куда более удаленные звездные миры. На старых фотографиях М82 можно было различить пересекающие эту веретенообразную галактику исполинские пылевые полосы и волокнистые плюмажи на ее «полюсах».

В 1961—1962 гг. американцы Линдс и Сэндидж вновь фотографируют при помощи пятиметрового телескопа веретенообразный звездный остров. Но на этот раз галактику запечатлевают в красном свете. С помощью особого интерференционного фильтра ее снимают в свете, длина волны которого строго соответствует так называемой альфа-линии водорода. Тут-то и стали выявляться совершенно неожиданные особенности. Жалкие волокна, которые с трудом удавалось разглядеть на старых снимках, превратились вдруг в исполинские водородные «крылья», простирающиеся по обе стороны галактики на 14 000 световых лет. Красный фильтр произвел волшебное превращение. Несколько позднее выяснилось, что волокнистые образования на одной стороне галактического диска приближаются к нам, а на другой — уносятся прочь. Ученые растерялись. Загадочное явление наталкивало на два взаимоисключающих вывода: 1) галактика взрывается, 2) галактика сжимается. Более тщательный анализ показал, что волокна южной части диска приближаются к Земле, а северной — отдаляются. Это вносило уже известную определенность. Если северный край диска ближе к Земле, то сдвиг спектральных линий может свидетельствовать только о разлете вещества, если же ближе южная часть, то галактика находится в состоянии сжатия.

Проблему могли разрешить только прямые измерения.

Еще в двадцатых годах Слейфер отметил, что основные массы галактической пыли концентрируются в тонком слое, лежащем в центральной плоскости галактики. Это значит, что если галактика повернута к нам ребром, то ближайший край ее на фоне яркого ядра будет окантован темными каемками пыли. Удаленный же край га-



лактики лишен сверкающего ядерного фона, и пылевые волокна поэтому почти неразличимы. Критерий, как мы видим, довольно четкий. Он-то и решил судьбу М82. Выяснилось, что ее северная сторона ближе к нам, чем южная. А это означает, что вещество волокон разлетается от центра галактики.

Дальнейшие спектральные исследования только укрепили этот вывод. Выяснилось, что чем дальше от центра, тем сильнее наклон спектральных линий. Отсюда легко сделать вывод, что скорость разлета волокон с каждой стороны диска линейно возрастает с удалением от центра.

Вычислив наклон галактики к линии зрения, удалось установить, что скорость вещества на краях газовых крыльев достигает 1000 км/сек .

Прямо пропорциональное возрастание скорости с удалением от центра свидетельствует о том, что все вещество волокон когда-то находилось в ядре галактики. Иными словами, волокна являются следами титанического взрыва, который потряс когда-то галактическое ядро. Расчеты показывают, что взрыв мог произойти примерно полтора миллиона лет назад. Впрочем, когда мы говорим о прошлом галактических объектов, всегда нужно делать поправку на расстояние. М82 отстоит от нас на 10 миллионов световых лет. Поэтому мы видим сейчас следы катастрофы, которая была 11,5 миллионов лет назад. Можно только гадать, какой вид имеет М82 сейчас и существует ли она вообще.

Количество разлетающегося из ядра вещества можно оценить по интенсивности водородных линий в спектре

волокон. Проведенные Сэндиджем расчеты дали колоссальное число в 10^{63} протонов и электронов низких энергий. Эта цифра сопоставима лишь с пятью миллионами солнц! Чтобы привести такую исполинскую массу в движение, требуется энергия в $2 \cdot 10^{55}$ эрг. Вот какой взрыв потряс ядро М82!

Специалисты считают М82 типичной радиогалактикой. И если она не обнаруживает сейчас двух отдельных радиоисточников, то те могут появиться на более поздних стадиях эволюции. Короче говоря, крылья галактики еще не превратились в газовые струи с электронными «бомбами» на концах. Характерные для М82 волокна можно обнаружить почти во всех радиогалактиках. Вообще газовые струи высоких энергий одинаково типичны для самых разных радиоисточников: и галактик типа М82, и квазаров 3С48 и 3С273... Особенно ярко проявляются они у спиральной галактики NGC4651, идентифицированной недавно с радиоисточником 3С275.1. По обе стороны спиральных рукавов этой туманности извергаются газовые потоки, простирающиеся на 50 000 световых лет!

И вновь на повестке дня проблема энергий, Синхротронная модель позволила вычислить полную энергию взрыва ядра М82, которая лежит в пределах 10^{57} — 10^{58} эрг. Такие же радиоисточники, как Лебедь А, Геркулес А и Гидра А, возникли в результате еще более чудовищных взрывов. Выделившуюся при этом энергию можно оценить не менее чем в 10^{62} эрг. Так мы вновь возвращаемся к проблеме, поставленной в рассказе о сверхзвездах. Те же энергии, тот же ход мысли, те же гипотезы. И кто знает может быть сверхзвезда — это лишь первоначальная ступень эволюции радиогалактик? А может быть сверхзвезды представляют собой лишённые «оболочки» галактические ядра?

Думается, что ответы на многие интересующие нас вопросы мы получим в ближайшие годы. Взрывы сверхзвезд и галактических ядер по своей мощности оставляют далеко позади все известные человечеству физические процессы. Открытие этих явлений несомненно обогатит науку и новыми фактами, и новыми идеями.

А пока мы можем рассматривать метагалактические взрывы как вероятный источник космических лучей,

6

ЧАСТЬ

ВСЕЛЕННАЯ И БЕСКОНЕЧНОСТЬ

Длинное отступление на тему о времени, текущем вспять

Мы уже успели привыкнуть ко многим абстракциям. Теперь нам предстоит узнать, что материальные объекты в принципе могут двигаться во встречном времени от будущего (конечно, с нашей точки зрения) к прошедшему. Но «безумие» современной физики редко лежит на поверхности. Прежде чем постичь своеобразие той или иной научной идеи, приходится осваивать причудливый мир присущих ей условностей. Если бы в вашей библиотеке все книги были написаны на разных языках, то прежде чем взять с полки новый том, вам нужно было бы изучить еще один язык. Здесь, конечно, имеется известное преувеличение. Язык науки один — математика. Но, во-первых, в данном повествовании математических символов почти не будет, а, во-вторых, каждую фундаментальную идею действительно окружает своего рода индивидуальный ореол условности.

Итак, нам предстоит освоить принципы четырехмерной географии. Когда мы описываем взаимодействие частиц, то нам необходимо знать не только время и место этого взаимодействия, но и пространственно-временную траекторию. Вспомним, как выглядит любая географическая карта, и для яркости восприятия снабдим ее романтической эмблемой — розой ветров. Вертикальная стрелка ориентирует нас с юга на север, горизонтальная — с востока на запад. На такой карте легко можно изобразить пространственную траекторию. Вот извилистый путь «Волги», преодолевшей расстояние от Москвы до Тулы, прямая, по которой летел самолет из Шереметьева в Ленинград, а если карта достаточно крупномасштабная, то крохотный кружок изобразит нам путь протона в дубнинском синхрофазотроне. Любой движущийся предмет может оставить свой след на карте. Но предметы движутся не только в пространстве, но и во

времени. А об этом карта умалчивает. Мы не знаем, когда «Волга» пересекла кольцевую автостраду или когда самолет пролетел над Калинином. Наша карта — всего лишь вертикальная проекция. Мы не знаем даже на какой высоте летел самолет. Чтобы наглядно представить себе трассу полета, карту пришлось бы превратить в макет. Но и макетом, как мы можем видеть, ограничиться нельзя. Историю полета во времени не сможет рассказать даже макет. Для этого нужна четырехмерная карта, но никто пока не знает, как она выглядит. И это понятно, мы живем в мире трех координат, и нам трудно даже вообразить, как будет выглядеть четырехмерное пространство. Впрочем, говоря о геометрии Вселенной, мы прибегли к некоторым аналогиям и взглянули сами на себя глазами двухмерных обитателей раздувающегося шара. Теперь нам остается лишь продолжить наши мысленные эксперименты.

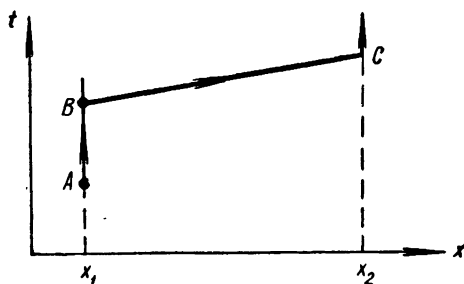
Вырезав из бумаги силуэты своих рук, мы не найдем особой разницы между двумя пятипалыми листочками. Но совместить их один с другим нам не удастся. Они симметрично противоположны, зеркальны друг другу. Но стоит перевернуть один из листочков, и все сразу же станет на место. Листки совместятся. Вспомнив рассказ о проблемах четности, мы можем сказать, что совершили зеркальную инверсию. Но как мы ее совершили? Попробуем проанализировать этот процесс. Мы подняли листок над плоскостью, перевернули его и вновь положили на плоскость. Это равнозначно тому, что мы изъяли силуэт из двухмерного мира, перевернули его в трехмерном мире и вновь возвратили во Вселенную двух координат. С точки зрения двухмерных жучков мы совершили непостижимое чудо. Но попробуем сотворить такое же чудо со слепками своих кистей. Здесь нас ожидает полное банкротство. Мы никогда не совместим слепки друг с другом. И все потому, что они не двухмерны, как бумажные листки, а трехмерны. Для того чтобы «перевернуть» один из слепков, нам нужно было бы унести его в четырехмерный мир.

Но четвертое измерение так же вне пространства, как третье вне плоскости.

В воображаемом мире четырех измерений мы могли бы получать зеркальные копии простым переворачиванием предметов, надевать левую перчатку на правую руку,

видеть в направлении четвертого перпендикуляра одновременно всех спрятанных одна в другую матрешек, сжать в надутые воздушные шары бабочек, не нарушая сплошности резины. Больше того, такой шар можно было бы вывернуть наизнанку, не выпуская из него воздух.

Конечно, все эти фантастические возможности существуют в виде чисто геометрических абстракций. Теория многомерных пространств играет большую роль не только в математике, но и в физике. Многие задачи, связанные с поведением молекул, атомов и элементарных час-

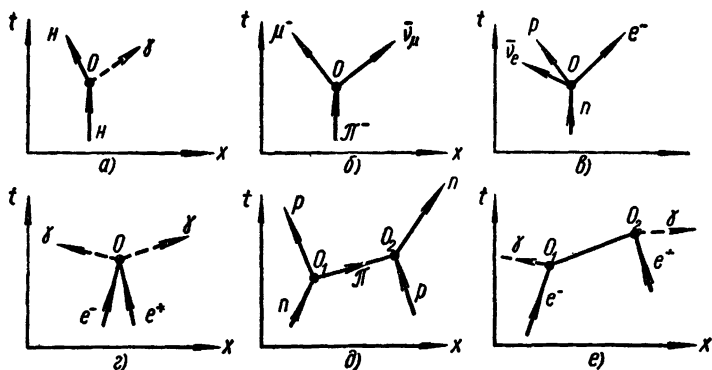


тиц, удастся решить лишь при помощи многомерной геометрии. Но сейчас нас интересует не это. К чудесам, которые можно проделывать в четырехмерном мире, мы добавим еще одно: построим искомую четырехмерную карту.

Попробуем изобразить историю движения самолета во времени и пространстве. Предположим, что самолет движется на восток. В этом случае мы можем обойтись без вертикали север — юг и заменить ее линией времени t . Горизонтальная линия x будет тогда отсчитывать расстояние.

На пространственно-временной карте нет мест, соответствующих покою. Даже аэродром x_1 , с которого поднялся самолет, не остается в покое. Он движется во времени. Положение его на оси расстояний x не меняется, но с течением времени он перемещается по оси t , оставляя вертикальный след, который называется «мировой линией». Мировые линии аэродромов x_1 и x_2 представлены пунктирными вертикалями. Пока самолет неподвижно стоит на аэродроме, он тоже движется лишь во времени,

т. е. вертикально вверх (линия AB). После того как самолет взлетел и лег на курс, он начал перемещаться и во времени, и в пространстве (линия BC). Приземлившись в пункте x_2 , он перестал перемещаться в пространстве и его мировая линия вновь сделалась вертикальной. Пространственно-временные диаграммы позволяют описать движение только вдоль прямой. Но и этого большей частью оказывается вполне достаточно, чтобы наглядно изобразить взаимодействия элементарных частиц.



Перед нами шесть диаграмм, на которых изображены мировые линии некоторых элементарных процессов. Вот как, например, протекает процесс испускания фотона водородным атомом (a). Вертикальная мировая линия символизирует неподвижность атома в пространстве. Выбросив фотон, который унесся вправо, атом пришел в движение. Скорость движущегося по инерции атома, конечно, меньше, чем скорость фотона, что и характеризуется меньшим наклоном мировой линии к вертикали. Мировая линия фотона близка к горизонтали. Но горизонтальной она, как и любая другая, быть не может. Ведь горизонталь на нашей диаграмме означает движение без затраты времени. Ближе всего к горизонтали мировые линии фотонов и нейтрино, которые движутся с самой большой скоростью — скоростью света.

На другой диаграмме (b) пион распадается на мюон и антинейтрино. В точке O он перестает существовать, и его мировая линия обрывается. Но в тот же момент и в том же месте появляются продукты его распада, которые

разлетаются в разные стороны со скоростями, пропорциональными углам наклона.

Распад нейтрона (ϑ) в принципе ничем не отличается от предыдущего случая. Точка O и здесь, и там свидетельствует о том, что на языке теории относительности называют «событием» в отдельной точке пространства и времени. Диаграмма (ε) изображает процесс аннигиляции электронно-позитронной пары с образованием двух гамма-квантов, а диаграмма (δ) — процесс обмена пионом между двумя нуклонами.

Необходимо иметь в виду, что разыгрывающиеся в точках O элементарные события могут на самом деле представлять собой сложнейшую цепь событий. Но все это происходит в столько незначительной пространственно-временной ячейке, что мы принимаем целую последовательность событий за одно. На самом деле аннигиляция электронно-позитронной пары происходит вовсе не так, как показано в диаграмме (ε). Фотоны испускаются не из одной, а из разных точек (e). Но пространственно-временное, если можно так выразиться, расстояние между точками O_1 и O_2 крайне невелико, и они сливаются для нас воедино. Но вообще следует ясно представить себе, что акты аннигиляции и рождения частиц только кажутся нам столь внезапными. На самом деле они могут оказаться лишь венцом каких-то плавных и последовательных процессов, разыгрывающихся в ультрамалых областях пространства и времени.

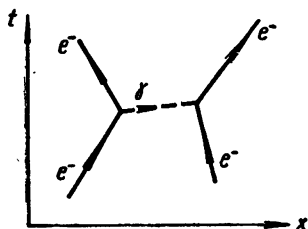
Диаграммы, подобные тем, с которыми мы только что познакомились, обычно называют фейнмановскими. Нобелевский лауреат 1965 года по физике Фейнман показал, что эти диаграммы в точности соответствуют математическим выражениям полевой теории электронов и фотонов.

Рассмотрим с самых современных позиций процесс «рассеяния» двух электронов.

Вот сближаются два электрона. Левая частица испускает фотон и изменяет свою скорость. Правый электрон поглощает этот фотон и тоже меняет свою скорость. Обе частицы взаимодействуют или, по крайней мере, воздействуют друг на друга, так как движение их изменяется. Очевидно, взаимодействие между частицами осуществляется за счет обмена фотонами. А если придерживаться большей точности, то исходным окажется

взаимодействие не между электронами, а между каждым из электронов и фотоном.

Второй электрон не располагает прямой информацией о первом. Традиционное представление о дальнем действии, соединяющем два тела, становится бессмысленным. Оно подменяется идеей локального взаимодействия. В нашем случае каждый электрон взаимодействует с фотоном именно локально в той точке, где находится.

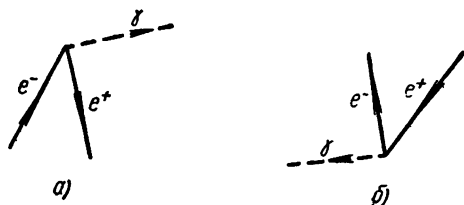


Фейнмановские диаграммы не так просты, как это может показаться. В них кроется глубочайший смысл. Возьмем хотя бы точки, в которых происходит испускание или поглощение фотона. Если сплошные линии обозначают мировые линии электронов, то фундаментальные процессы испускания и поглощения сопровождаются изменением состояния движения этих электронов. Но можно дать диаграмме и совсем иное толкование. Мы можем рассматривать вершину в качестве точки, в которой заканчивается мировая линия одного электрона и начинается мировая линия другого. В этом случае вершина символизирует подлинный катаклизм. Мы уже не считаем, что в ней происходит изменение состояния отдельного электрона. Нет! В ней погибает один электрон и рождается другой, новый. Поскольку все электроны себестоимы, то мы даже в принципе лишены возможности отличить их друг от друга. Но, считая отклоняющийся электрон новой частицей, мы не просто оригинальничаем. Такое представление лучше соответствует математическому аппарату теории фундаментальных взаимодействий.

Предположим теперь, что мы поменяли направление стрелок на мировых линиях. Это с чисто формальной стороны даст нам возможность отличать частицы от ан-

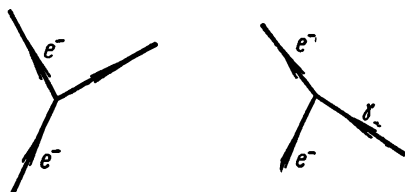
тичастиц. Одно направление мы примем для частиц, противоположное — для античастиц.

Тогда диаграмма (а) изобразит нам аннигиляцию электронно-позитронной пары, а диаграмма (б) — рождение этой пары.



Эти диаграммы как бы перевернуты по отношению к знакомым нам диаграммам, в которых участвуют электроны.

Отсюда вытекает, что фундаментальная электронно-фотонная вершина при вращении в пространстве — времени станет описывать все мыслимые основные взаимодействия между электронами, позитронами и фотонами.



А это, в свою очередь, дает нам простое и общее представление о том, что составляет фундамент всех электромагнитных процессов.

Исследуя эти диаграммы, Фейнман обнаружил, что поворот стрелки — это не только хитроумный прием, а нечто гораздо более важное. Теория поля говорит, что рождение позитрона эквивалентно гибели электрона. Мы знакомы с этим еще из «моря Дирака». Можно пойти и несколько дальше, сказав, что математическое описание позитронного поля, распространяющегося во времени, тождественно описанию поля электронного, но движущегося на встречном времени.

Теперь мы посягаем на самые основы здравого смысла, утверждая, что обычные элементарные частицы движутся не только от прошлого к будущему, но и от будущего к прошлому. Но не стоит делать из этого далеко идущих выводов. Действительно, позитрон можно описывать как электрон, движущийся навстречу времени. Но, и в этом нужно полностью отдавать себе отчет, делать так совсем не обязательно. С не меньшим на то основанием мы можем дать описание, при котором позитрон будет выглядеть самым тривиальным образом, то есть его мировая линия будет направлена в ту же сторону, что и наши человеческие. Просто представление о противоположном ходе времени проясняет нам картину элементарных актов и очень изящно объясняет существование антивещества.

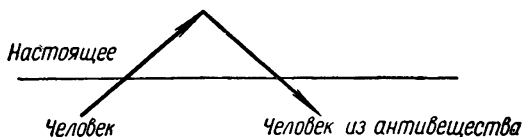
Попробуем применить фейнмановский прием обращения времени к человеку. Задача эта, конечно, совершенно фантастическая и отлично известна в литературе под названием «машины времени». Итак, требуется доказать, что мы движемся во времени только от прошлого к будущему и лишены тех привилегий, которыми обладают элементарные частицы. Иначе говоря, мы должны доказать невозможность «машины времени». В принципе человек мог бы обладать присущей частицам свободой плавания на волнах времени. Но случилось так, а почему, мы до сих пор не знаем, человек построен из частиц, а не из античастиц. Частицы же движутся в направлении к будущему.

Вопрос решается в принципе, поэтому мы вправе, сохраняя достаточную серьезность, спросить себя, нельзя ли нам, подобно электрону, обратить свое движение во времени? Ответ здесь однозначен, хотя и не лишен юмора. Если бы человек собирался поступить именно так, где-то в будущем он уже знал бы об этом. Мы знаем, что делается вокруг нас в **данный момент**, и мировая линия, которой предстоит потом обратиться во времени, все равно пройдет через настоящее, то есть через **данный момент**.

Настоящее — это горизонтальная линия. Если бы мировая линия человека оказалась обращенной, то он в этот момент времени должен был встретиться с человеком из будущего, построенного из античастиц. Все это звучит, конечно, фантастично. Но только потому, что мы

имеем дело не с элементарными частицами, а с людьми. Когда разговор шел об элементарных частицах, фейнмановские диаграммы нас ведь не очень удивили.

Теория относительности не выделяет направление течения времени. Кажущаяся односторонность течения времени обусловлена тем, что наш мир составлен из частиц, а античастицы встречаются в нем крайне редко. Только наша память показывает нам, куда течет время. Частицы такого свойства лишены.



Недавно в «Трудах Британского королевского общества» была опубликована статья Дж. В. Нарликара, посвященная теоретическому исследованию двух вариантов «модели» Вселенной. Автор показал, что в одном случае нейтрино могут перемещаться во времени. Возможно, пишет автор, представление о причинной последовательности явлений природы обусловлено тем, что Вселенная непрерывно расширяется начиная с момента своего возникновения. Наличие начала отсчета обуславливает направленность времени в одну сторону — из прошлого в будущее. Поскольку нейтрино взаимодействуют с другими частицами и полями чрезвычайно слабо, то, как следует из теории, они могут служить чувствительными индикаторами этого спорного предположения.

Ученый предлагает поставить эксперимент с источником нейтрино и приемником, в котором можно было бы регистрировать появление этих частиц. Если приемник будет регистрировать нейтрино только после того как они возникли в источнике, то эксперимент будет говорить в пользу эволюционной теории возникновения Вселенной начиная с какого-то начального момента времени. Если же приемник обнаружит нейтрино до того, как они возникли в эмиттере, то это будет свидетельствовать в пользу вечной, устойчивой Вселенной. В такой Вселенной нейтрино может перемещаться в прошлое.

Как практически поставить такой эксперимент, автор, правда, не указывает.

Бесконечность и твист

В общефилософском понимании бесконечности мы не так уж далеко ушли от древних. Недаром высказывание Аристотеля, что «рассмотрение бесконечного имеет... свои трудности, так как много невозможного следует и за признанием, и за отрицанием его существования» ни на иоту не устарело. Конечно, от знаменитых зеноновских апорий бесконечного до современных математических построений столь же далеко, как от паровой вертушки Герона до атомного реактора. Но суть спора не изменилась. Только многовековой спор давно уже вышел из рамок узкой математики. Как писал Гильберт, выяснение сущности бесконечного «стало необходимым для чести самого человеческого разума».

Практическая бесконечность как логически простейший тип бесконечности волновала еще мудрецов древней Иудеи. Впрочем и по сей день без нее не обходится почти ни один раздел математической физики. Практическая бесконечность — это по сути просто очень большое (или малое) число. При этом критерий «достаточно» большого (или малого) полностью зависит от конкретной задачи. Так, для ядерщика даже 10 сантиметров — бесконечно большое расстояние, для астронома бесконечно большим будет уже путь в миллионы световых лет, а для космолога оба эти расстояния бесконечно малы. Сами по себе 10 сантиметров ядерщика и 10^{24} сантиметров астронома суть обычные конечные числа. В «чистом виде» они даже не намекают на бесконечность. Точно так же, как и любые другие большие или малые величины. Возьмем для примера числа, характеризующие вероятности крайне невероятных событий, вроде «чуда Джинса» — замерзания воды в раскаленной печи. Вероятность такого события столь же ничтожна, как и победа Остапа Бендера в шахматном поединке с Ботвинником. Английский математик Литтлвуд подсчитал, что человек, никогда не игравший в шахматы, сможет победить чемпиона мира с вероятностью $1:10^{122}$. Эта цифра страшнее, чем категоричное утверждение «никаких шансов». Но сама по себе она вполне конечна. Практическая бесконечность — это не что иное, как выход за определенный предел, который может произвольно меняться от задачи к задаче.

Бесконечность как безграничность требует уже более высокой ступени абстракции. Этот тип бесконечности составляет основу математического анализа. Понадобилось около двух тысяч лет, чтобы от практической бесконечности Архимеда и Демокрита человечество пришло к бесконечности Лейбница и Ньютона. И прав Г. Наан, сказавший, что эти двадцать веков должны послужить некоторым предостережением для тех из наших современников, которые отважно берутся доказать «окончательное» решение проблемы бесконечности и мимоходом «доказать» бесконечность Вселенной с помощью философских категорий.

Если какая-то переменная стремится к бесконечности, то она становится не просто больше некой «достаточно большой» величины, а больше любой сколь угодно большой величины.

При стремлении же переменной к определенному конечному пределу разница между этим пределом и переменной становится меньше любой сколь угодно малой величины, то есть переходит любую границу на пути к этому предельному значению. Это известно любому первокурснику, начавшему изучать математический анализ. Совершенно справедливо Гегель назвал математическую бесконечность (бесконечность как безграничность) — «отрицательной», «неразумной», «дурной». «Сначала ставят границу, затем переступают ее, и так до бесконечности», — писал он.

Во времена Гегеля математическая бесконечность считалась высшим типом бесконечности. Других типов просто не знали. Естественно поэтому, что и понятие бесконечности пространства употреблялось лишь как характеристика его безграничности. И для Гегеля, и для Энгельса бесконечность пространства была примером «дурной» бесконечности. Гегель считал, что истинная бесконечность должна не просто отрицать конечное, а быть чем-то «положительным и наличным», «отношением меры и законов», которые разум открывает в природе.

Но попросту выдумать «истинную», т. е. более высокую, бесконечность нельзя. Да и задача это математическая, а не философская. Поэтому бесконечность как отношение меры и закона проявила свой лик только в метрической геометрии Римана. Точно также, как беско-

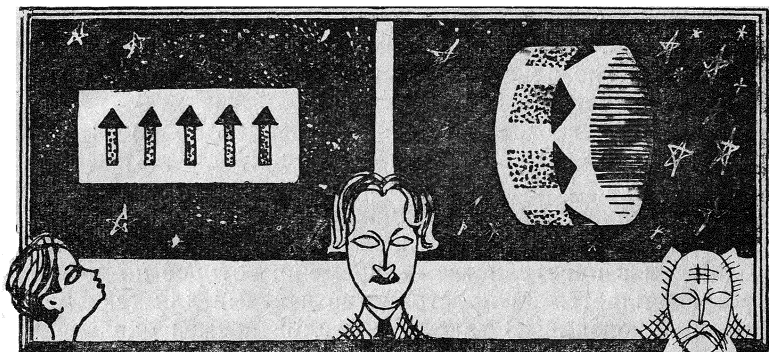
нечность, характеризующая «нечто положительное и наличное», явилась следствием теории бесконечных множеств Кантора. Оба открытия были подлинными революционными скачками в эволюции не только математики, но и человеческого мышления вообще.

Метрическая бесконечность Римана принесла с собой совершенно новое качество. Достаточно вспомнить, что для искривленного пространства, в отличие от плоского пространства Евклида, бесконечность и безграничность отнюдь не совпадают. Искривленное пространство может быть конечным и оставаться в то же время безграничным.

Путь от метрических свойств к топологическим вполне закономерен. Топологические свойства пространства наиболее устойчивы. Пространство может деформироваться (без нарушений сплошности) сколь угодно сильно, топологические же свойства его остаются неизменными. В этом смысле топологическая бесконечность является более общей, чем метрическая. Ведь, грубо говоря, топология более устойчива к деформациям, чем метрика.

Важнейшей топологической характеристикой пространства является его связность. Мы уже говорили об этом, излагая гипотезу Ивантера о природе спектра масс элементарных частиц. Если пространство односвязно, то метрическая бесконечность совпадает с бесконечностью топологической. Но реальное физическое пространство, как показывают данные последних лет, топологически многосвязно. Поэтому извечная проблема конечности или бесконечности пространства — времени, не только не разрешается, но и, напротив, становится намного сложнее. Даже с чисто математической стороны топологическая классификация возможных трехмерных пространств (не говоря уже об эйнштейновском четырехмерном пространстве—времени) — на сегодняшний день задача неразрешимая.

Все это небольшая предыстория, необходимая для понимания сущности наиболее общего из известных сейчас типов бесконечности. Речь идет о теоретико-множественной бесконечности. Это своего рода клин, предназначенный для вышибания другого клина: теорию множеств специально создали для преодоления затруднений, которые принесла в математику бесконечность. Она должна



была стать защитой от того, что остроумно называли «ужасом бесконечного» (*horror infiniti*). И на самом деле, теория множеств блестяще оправдала надежды ее творцов, но... разрешив существующие трудности, она породила другие. Такова диалектика развития.

Теория множеств дала надежду когда-нибудь разработать мерещившееся Гегелю положительное определение бесконечности, которое бы не отрицало конечное. В такой бесконечности оказалась бы неприменимой аксиома Эвклида, утверждающая, что целое всегда больше своей части. Нам пришлось бы отказаться и от многих привычных аксиом, основанных на здравом смысле.

Впрочем, не надо думать, что новые математические теории несут с собой лишь ниспровержение основ и полный отказ от вековых истин. Здравый смысл всегда отыскивает лазейку и, перекидывая мостики от нового к старому, стремится сохранить человеческий опыт, добытый столь дорогой ценой. Некоторые теоретики считают, например, что бесконечность в принципе недоказуема, неопровержима и невыводима. Если это на самом деле так, то все наши даже радикальные суждения о бесконечности опираются в конечном счете на ту или иную аксиому бесконечности. Получается замкнутый круг, выхода из которого пока не видно. (Было бы наивно надеяться разрешить эту проблему раз и навсегда. Окончательных доказательств и законченных учений, годных на все времена, по-видимому, не существует).

Лучшая теория не та, которая устраняет все противоречия (таких теорий нет), а та, которая наиболее полно выявляет характер таких противоречий.

С незапамятных времен люди были уверены, что живут в неограниченном плоском пространстве и скользят в абсолютно независимом мировом времени, которое повсюду течет совершенно одинаково.

Кусок плоскости со стрелками в левой части рисунка на стр. 431, обозначающими время, текущее от прошлого к будущему, — наглядная двухмерная модель такой идиллической Вселенной.

Специальная теория относительности показала, что мы живем в пространстве — времени, которое по-разному расщепляется на пространство и время для тех или иных наблюдений. В такой Вселенной времен оказалось достаточно много:

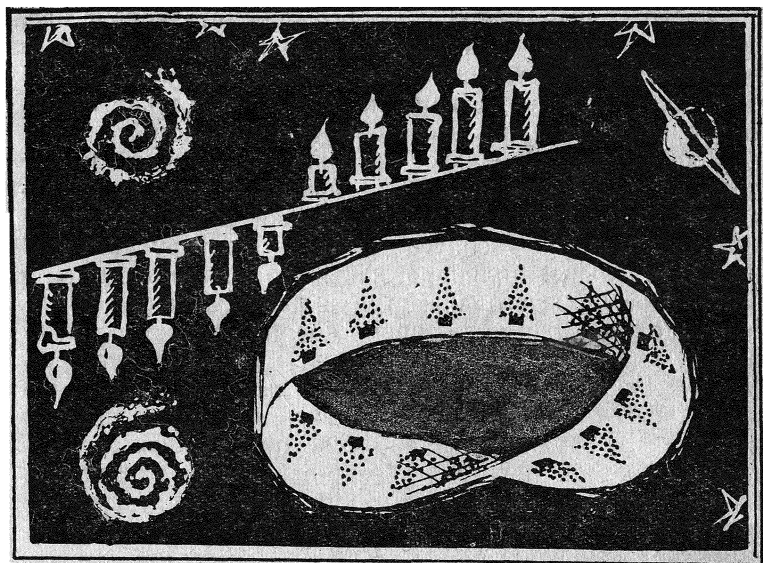
Общая теория относительности разбила наши иллюзии и о плоском пространстве. Она снисходительно разрешила считать плоским лишь то пространство, где плотность относительно мала.

В области же высоких плотностей, когда кривизна пространства постоянна и положительна, безграничное пространство становится конечным и замыкается в кольцо, называемое иногда цилиндрическим миром Эйнштейна (см. правую часть рис.). В такой Вселенной кривизна со временем не изменяется. Но мы уже давно обнаружили, что Метагалактика расширяется и кривизна пространства не постоянна во времени. Вот в каком изменяющемся мире нам суждено жить.

Общей теорией относительности предусмотрены еще более сложные космологические модели, в которых время искривлено или даже замкнуто. Есть и совсем экзотические Вселенные, так называемые полузамкнутые модели, в которых конечной является лишь часть пространства.

В общем мы постепенно привыкаем к тому, что метрические, то есть измеряемые, свойства пространства или времени могут быть достаточно «безумными».

Желание достигнуть хоть какого-то постоянства обусловило в основном ожидание увидеть сравнительно простыми хотя бы топологические свойства. Конечно, смешно было надеяться, что пространство на самом деле устроено так, как бы нам этого хотелось. Просто природа еще никогда не демонстрировала человеку таких явлений, которые могли бы отнять у него эту вполне просительную надежду.



Топологические, как уже говорилось, наиболее устойчивые свойства пространства включают в себя размерность (число измерений), связность (т. е., в самом общем случае, присущее пространству свойство состоять из одной или нескольких частей) и ориентируемость. Мы уже давно привыкли к тому, что живем в трехмерном, односвязном и ориентируемом мире, а если говорить о пространстве — времени, то наш мир четырехмерен, вернее, в нем $3 + 1$ измерений. Но мы даже вообразить себе не можем, как будет выглядеть, допустим $(2+2)$ -мерное пространство, расщепленное на двумерное пространство и двумерное время.

Для большей наглядности обратимся к цилиндрическому миру Эйнштейна. Но прежде чем свернуть полосу (плоский мир) в кольцо (цилиндрический мир), закрутим ее на пол-оборота. Это будет поверхность Мебиуса, без которой еще со времен «Алисы в Зазеркалье» не обходится, кажется, ни одна популярная статья по теории относительности. Лист Мебиуса — простейший пример односторонней поверхности, или, иначе говоря, неориентируемого пространства. Закрученность совершенно меняет многие топологические свойства поверхности. Если у

обычного кольца, как и у любого предмета вокруг нас, есть две стороны — внутренняя и внешняя, то закрученное кольцо односторонне. Мы можем выкрасить его в один цвет, единым мазком, ни разу не пересекая краев. А попробуйте сделать это с обычным кольцом!

Любую двустороннюю поверхность можно разделить на две части замкнутым контуром или разрезать вдоль этого контура на две половинки. В неориентируемом пространстве Мебиуса разрез по контуру даст нам не два отдельных цилиндра, как этого можно ожидать, а один, вдвое большего диаметра и дважды закрученный. Мир, где пространство — время подобно одностороннему кольцу, поистине удивителен. Совершив там кругосветное путешествие и возвратившись в исходный пункт, мы вынуждены были бы констатировать, что время потекло вспять. Это трудно наглядно себе представить. Ведь в так называемом пространственно-временном каркасе нет наших стрелок, символизирующих направление времени из прошлого в будущее. Это в нашем простейшем эксперименте с закручиванием кольца мы видим, как меняется ориентация стрелок. Такая, казалось бы, пустая игра в парадоксы подводит нас к весьма серьезной проблеме. Ведь, говоря словами Г. Наана о том, какое из двух совершенно равноправных направлений на линии времени считать направлением к будущему, мы судим по локальным физическим процессам, например по возрастанию энтропии (и по нашей собственной отчаянной борьбе с возрастающей энтропией).

После кругосветного путешествия в неориентируемом пространстве наблюдатель должен был бы сказать, что либо время потекло вспять, либо энтропия имеет тенденцию уменьшаться. Поэтому вопрос, который так озадачивает исследователей, — каким образом в сверхзвездах можно повысить энергию электронов от нескольких электронвольт, не нарушая второго закона термодинамики, — может иметь очень простой, хотя и совершенно неожиданный, с точки зрения привычных представлений, ответ: гравитационное поле здесь столь сильно, что возникает пространственно-временной твист» (закрученность. — Е. П.).

Вот, собственно, к чему привели нас рассуждения о природе бесконечности или топологических свойствах пространства. В науке нет изолированных локальных

проблем. Все они как-то связаны друг с другом, переключаются между собой, обнаруживая изумительную взаимообусловленность. В этом едва ли не основная прелесть современного естествознания. Примерно по такому же принципу автор пытался построить эту книгу. Отсюда такое обилие неожиданных отступлений и частые возвращения к уже изложенным проблемам. Наука нигде не ставит последних точек. И самое законченное из ее зданий может неожиданно обрушиться и явить взгляду контуры еще более величественного сооружения.

Возвратимся к многосвязным и неориентируемым пространственно-временным многообразиям. Говоря более конкретно, нас интересует проблема причинности в «экзотических» пространственно-временных областях. Возможные аномалии причинно-следственных связей явлений могут быть заранее исключены своего рода «правилом одностороннего уличного движения». При гравитационном взрыве сверхзвезды такое правило выглядит достаточно просто: вещество может двигаться только радиально — либо к центру, либо от центра. Обращение движения и движение навстречу совершенно исключаются. В «катастрофической» области автомобилист (если бы он каким-то чудом туда попал) не может вдруг передумать и повернуть обратно. Его судьба в такой области заранее предопределена. Здесь действует такой железный гороскоп, который и не снился астрологам. Причинно-следственные связи в этом случае куда более жестки и определены, чем в обычном пространстве — времени. В катастрофической области невозможно даже кругосветное путешествие, которое мы мысленно совершили по кольцу Мебиуса. И все потому, что всякое движение должно либо начинаться с катастрофы (взрывное расширение из точки), либо заканчиваться катастрофой (взрывное сжатие в точку).

Попробуем разобраться со всем этим на диаграмме Крускала (стр. 439). По этой диаграмме различные гиперболы соответствуют различным значениям радиуса Шварцшильда. Квадрант I представляет собой область вне сферы Шварцшильда, квадранты II и III — внутри этой сферы.

Вообразим себя в роли достаточно удаленного от сферы Шварцшильда наблюдателя. По мере приближения к сфере (линия $r=r_0$) гравитационное поле возрастает и,

как мы уже знаем, течение времени замедляется. На самой сфере время течет бесконечно медленно. Мы не увидим никаких изменений, даже если вооружимся изрядным запасом терпения. Поэтому-то для нас падающий предмет никогда не достигнет самой сферы или достигнет ее в бесконечно далеком будущем. Точно так же расширение, или антиколлапс (квадрант IV) начинается в бесконечно далеком прошлом. Для нас, таким образом, линии $r = r_0$ превращаются во временные границы мира. Одна из них отвечает бесконечно далекому прошлому ($t = -\infty$), другая — бесконечно далекому будущему ($t = +\infty$). Но и всей этой нескончаемой реки времени недостаточно для того, чтобы охватить коллапс. Все дело в том, что движение внутри сферы Шварцшильда происходит до начала или после окончания вечности!

Так обстоит дело для удаленного наблюдателя. Посмотрим теперь, как будут вести себя часы, увлекаемые частицей, падающей на сферу Шварцшильда. Весь процесс падения, в том числе и движение внутри самой сферы (от линии $r = r_0$ до гиперболы $r = 0$), где частица приобретает скорость света, совершается за конечный и довольно короткий промежуток времени. Специальная теория относительности приучила нас к тому, что в каждой системе отсчета свое время.

Мы не можем категорически утверждать, что «истинными» являются показания либо часов падающей частицы, либо часов наблюдателя. В обоих случаях мы сталкиваемся с объективной реальностью. Абсолютно лишь пространство — время, но, расщепив его на пространство и время, мы получаем относительные понятия. Конечно, было бы более правильным следить за событиями, протекающими в пространстве — времени. Но это доступно лишь математике, сложным уравнениям мировых линий. Наш же здравый смысл требует обязательного расщепления.

Процесс коллапса связан с преодолением шварцшильдовского барьера, но происходит это как бы внезапным скачком, пространственно-временным взрывом, описать который на привычном языке просто невозможно. Так, при пересечении барьера одна из пространственных координат меняется ролями с временной. Употребляя привычные понятия, нам пришлось бы сказать, что расстояние превратилось во время, и наоборот.

Но этим не исчерпываются странности шварцшильдовской сферы. Так, на самом барьере пространство — время вообще принципиально нерасщепимо. Если бы наш воображаемый наблюдатель попал из своего далека на такой барьер, ему пришлось бы пережить престранные события. Вся вечность от бесконечно далекого прошлого до бесконечно далекого будущего уместилась бы для него в один неуловимый миг. Прошлое, настоящее и будущее слились бы воедино. Проще говоря, время бы исчезло. А попади этот наблюдатель в область, отвечающую гиперболе $r=0$, он был бы вынужден констатировать исчезновение пространства. Оно сузилось бы до математической точки.

Весь наш многовековой опыт пасует перед такой ситуацией. Старые логические понятия для нее тесны, а новые еще не придуманы. Больше того, всякое новое понятие неизбежно вступает в конфликт с нашим здравым смыслом, с нашим чувством реальности. Разве можем мы примириться с идеей, допустим, многосвязного пространства? Ведь, грубо говоря, мы просто не можем представить себе пространство не состоящим из одного куска. Отсюда нам трудно представить себе, что в многосвязном пространстве не всякий контур может быть путем непрерывной деформации стянут в точку внутри контура. А ведь именно с таким многосвязным пространством пришлось столкнуться нашему наблюдателю.

Возьмем плоскость, перпендикулярную плоскости чертежа и оси времени T диаграммы (пунктирная линия $A-A$). Это будет сечение пространства — времени в момент T_i . Иначе говоря, моментальный снимок всего, что происходит в этой экзотической области. Для малых значений времени ($T_i \rightarrow 0$) пространство ничем особым не отличается и наше сечение представляет собой обычную плоскость. Но начиная с некоторого времени гипербола $r=0$ вырезает в этой плоскости круглую дырку. Вот моментальный снимок такого случая.

Пространство перестало быть односвязным. Контур вокруг дырки не может быть стянут в точку. Предельные границы для него — края дырки. Любые траектории (пространственные проекции мировых линий частиц) вынуждены остановиться у этого немислимого рубежа. Зато если бы мы рассекли таким же образом нижнюю

половину диаграммы, все траектории вынуждены были бы начинаться у границ дырки.

Любая система, любой объект, попадающий из обычных областей пространства — времени в катастрофические (квадрант II диаграммы), уже никогда не вернется назад. Более того, он никогда не попадет и в какое-нибудь иное обычное пространство — время. Для него только один путь — катастрофическое сжатие в точку.

Во всем этом есть своя логика, пусть даже весьма специфическая. Но вот область пространства — времени, отвечающая дырке (заштрихованный круг), поистине уникальна в своей кажущейся бессмысленности. Это ничто. Самое подлинное и абсолютное ничто, отыскать которое безуспешно пытались мудрецы прошедших эпох. Здесь нет пространства, времени, вещества, движения, ничего нет. И тем не менее мы не можем сказать, что такая область не существует. Она существует. И даже может проявлять себя. Ведь на ее границе начинается и заканчивается история любого объекта, претерпевающего гравитационный взрыв. В случае коллапса история заканчивается, в случае антиколлапса — начинается. Иначе говоря, все происходит так, как если бы антиколлапсирующая сверхзвезда возникала из ничего, а коллапсирующая провалилась бы в ничто.

Но мы говорим так вынужденно. Это диктует нам весь строй наших умозаключений, принцип мышления и, главное, смысловой и ассоциативный словарь. С чем мы имеем здесь дело **на самом деле**, сказать чрезвычайно трудно. Очевидно, то, что мы сегодня вынуждены называть ничто, **на самом деле** представляет собой какую-то совсем иную форму реальности.

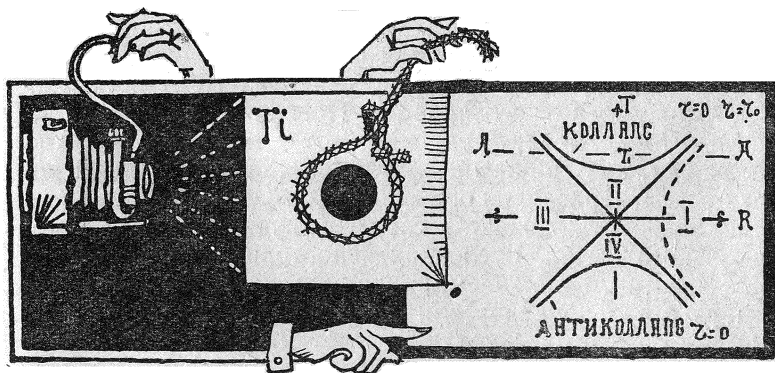
Естественно, трудно ожидать, чтобы превращение известных форм реальности в неизвестные и обратно проистекало по известным физическим законам. Ведь в этом случае неизвестная форма реальности была бы известной.

С незапамятных времен люди разделили реальность на некий «каркас» (пространство и время) и своего рода «начинку» (вещество и поле). Лишь в последние десятилетия, и то с большим трудом, мы осмыслили, что «каркас» представляет собой некое единство (пространство — время), как-то связанное с единой начинкой (вещество — поле). Теперь настало время осмыслить эту

загадочную связь, показать, что каркас и начинка тоже, возможно, являются лишь двумя формами единой реальности. Есть основания полагать, что общая теория относительности постепенно превращается из описания метрических свойств пространства — времени в описание его топологических свойств. Это значит, что настоящий отход от классики еще впереди. Может быть прав Уилер, считающий, что начинка не только не определяет свойства каркаса, но и сама по себе является лишь следствием некоторых необычных (топологических) его свойств. На основе этой весьма радикальной идеи ту же сверхзвезду мы можем рассматривать как особый выверт пространства — времени, своего рода аномалию в «обычной» топологии.

Сама по себе эта идея очень интересна, хотя, вероятно, «недостаточно безумна», чтобы объяснить самый грандиозный из известных нам процесс во Вселенной. Но не ради нее мы затеяли длинный и трудный разговор о бесконечностях и пространственно-временных многообразиях. Конечный наш вывод, а к нему читатель уже в некоторой степени подготовлен, таков: все формы реальности мы укладываем сейчас в общую схему пространство — время и вещество — поле, но, может быть, нам скоро придется ее несколько видоизменить и написать пространство — время — вещество — поле.

Мы «всего лишь» заменили «и» на обычное тире. Но какой сложный путь придется пройти человеку и науке, прежде чем это тире получит все права граж-



данства, такие, как тире в понятии пространство — время Эйнштейна и знак равенства в формуле $E=mc^2$, связывающий вещество (массу) с полем (энергией).

Только тогда мы сможем сказать, что все сущее является лишь различными видоизменениями единой реальности.

Некоторые уточнения по поводу конечности и бесконечности

И вот мы вновь возвращаемся к вопросу вопросов, который волновал человека в библейские времена и во времена античности, в столетия Средневековья и в наши дни. Мы не можем еще с достоверностью судить о том, каковы пространство и время Вселенной в целом. Мы только можем предполагать, что свойства пространства и времени где-то необозримо далеко от нас такие же, как и в околоземном пространстве, куда мы запускаем спутники и пилотируемые космические корабли. Проверить непосредственно, так ли это или нет, мы не можем и, кто знает, сумеем ли когда-нибудь вообще. Вот почему, когда мы подходим к проблеме конечности или бесконечности Вселенной, лучше заранее расстаться с надеждой на окончательный ответ. Древним было проще. Космология ветхозаветного Вавилона представляла собой миф, а мифы, как известно, не требуют доказательства. Действительно, бог Мардук разорвал чудовищную Тиамат на две части и сделал из верхней ее половины небо, а из нижней землю. Просто и ясно.

Но шутки шутками, а к проблеме конечности или бесконечности Вселенной нельзя подойти, не усвоив специфических черт космогонии, отличающих ее от всех других отраслей науки о природе. Прежде всего нужно понять, что космологи лишены такого могучего средства познания, как сравнение. А ведь именно сравнением постигаем мы различия и сходства вещей. Но Вселенная уникальна и включает в себя совокупность всего материального бытия. Вселенная неповторима. Она каждый раз иная, и мы не знаем, какие протекающие где-то процессы могут изменить или уже изменили ее лицо. Ведь сигнал об этом мы получим через миллиарды лет. Вселенная неповторима, и нельзя поэтому говорить о законах, применимых к ней в целом.

Возьмем к примеру закон всемирного тяготения. Очевидно, он верен для любой пары тел во Вселенной, но с чем может взаимодействовать сама Вселенная, если она одна? Возьмем законы термодинамики. Энергия рассеивается, энтропия возрастает. Это всеобщий закон, справедливый для любой изолированной системы. Но можно ли считать изолированной системой Вселенную, когда у нее нет никакой окружающей среды? И дело здесь не в софизмах или чисто семантических парадоксах. Дело прежде всего в уникальности Вселенной. Все остальное вытекает отсюда уже в виде следствий. Поэтому-то и задача космологии заключается не в поисках законов, управляющих всей Вселенной, а в построении ее модели. Космологу, может быть, даже в большей мере, чем ядерщику, нужно преодолевать инертность мышления. Границы так называемого «здорового смысла» весьма относительно. Для Вселенной в целом они во всяком случае тесны. Ориентированное направление в пространстве, например, теряет всякий смысл, когда это пространство вырастает до размеров Вселенной. Смешно говорить о «левой» или «правой» части Вселенной, о ее «ниже» и «верхе». Это очевидно. Но не столь очевидно, что так же смешно говорить и о единственном направлении развития. Если отдельные объекты развиваются по восходящей линии от простого к сложному, то это не значит, что таков закон развития Вселенной. Человек, планета, даже Галактика — это еще не Вселенная. Тем более что вокруг нас протекают процессы и по нисходящей линии, от высшего к низшему. Примером может служить хотя бы эволюция сверхплотного вещества в диффузную материю. Оба направления развития характерны для Вселенной, но ни одно из них не определяет ее жизни в целом. Вечный круговорот материи — вот что единственно характерно для Вселенной. Эта идея Энгельса, сформулированная им во введении к «Диалектике природы», пока остается самой общей и точной.

Демокрит считал Вселенную бесконечной в пространстве, а античный диалектик Гераклит — бесконечной во времени. Христианская космогония рисовала мир, ограниченный хрустальной сферой неподвижных звезд и отсчитывающий время от сотворения до светопрествления. Коперник только переместил центр этого мира с Земли на Солнце. И лишь Джордано Бруно во всеуслы-

шание заявил о бесконечности и вечности Вселенной. Но мы уже достаточно говорили об истории. Здесь нам важно лишь показать, что концепции конечности и бесконечности мироздания неоднократно сменяли друг друга. Такая смена противоположных идей, как мы видели, пронизывает всю историю человеческой мысли. Отрицание отрицания — краеугольный камень диалектики. Без этого закона трудно понять внутренние противоречия идейной борьбы в науке. Смена противоположных концепций не есть простая замена одного другим! Это сложный и объективный процесс, который все менее зависит от воли отдельных людей. Как бы полно и стройно ни обобщал факты ученый, всегда находится нечто, вступающее в противоречие с его системой. Иначе не может быть.

Ньютоновская система, отдадим ей, уже в который раз, должно, вступила в противоречие с идеей бесконечности Вселенной. В 1774 г. Шезо обнаружил так называемый фотометрический парадокс. Сущность парадокса заключается в том, что в среднем равномерно распределенные в бесконечном пространстве звезды должны были за бесконечное время раскалить звездное небо до яркости Солнца. Но, как известно, ночью темно. Иначе говоря, где-то что-то не так: либо теория неверна, либо есть какие-то еще не известные факты, могущие объяснить фотометрический парадокс. Но парадоксы оставались парадоксами и даже продолжали накапливаться. В 1877 г. Нейман и в 1899 г. Зелигер открыли уже известный нам гравитационный парадокс. Суть его в том, что среднее равномерное распределение звезд должно было в любой точке пространства создать бесконечно большую гравитацию. Но и этот парадокс резко расходился с действительностью.

Пытаясь разрешить трудности теории, астрономы и физики прибегали к самым фантастическим допущениям. Так, для объяснения фотометрического парадокса привлекли некое поглощающее свет межзвездное вещество. Но за бесконечное время оно само должно было раскалиться и стать источником излучения. Поэтому пришлось отказаться от этого ненаблюдаемого и, главное, ничего не разрешающего компонента мира. Точно так же тщетной оказалась попытка объяснить парадокс Неймана — Зелигера тем, что гравитация убывает не пропорционально квадрату расстояния, а несколько быстрее.

Самой героической попыткой спасти ньютоновскую систему мира была, пожалуй, иерархическая модель Вселенной, разработанная Шарлье и усовершенствованная в 1937 г. В. Г. Фесенковым. Иерархическая модель постулировала бесконечную Вселенную с бесконечной массой, но с плотностью, стремящейся к нулю. Такая Вселенная слагалась из систем различных все возрастающих порядков. За планетами с их спутниками следовали звезды с планетами, звездные скопления, туманности, скопления туманностей, метагалактики, скопления метагалактик и так до бесконечности. Так как модель предполагала быстрое убывание плотности при переходе к высшей ступени иерархии, то парадоксы устранялись сами собой. Это была последняя дань самоочевидности, грандиозная апология здравому смыслу. Но появилась теория относительности и выяснилось, что сама ньютоновская система мира представляет собой только частный случай другой, более общей системы. Но не будем повторяться. Упомянем лишь об одном забавном эпизоде из жизни великого мыслителя. Как-то девятилетний сын Эйнштейна Эдурд спросил: «Папа, почему ты так знаменит?» «Видишь ли, когда жук ползет по поверхности шара, он не замечает, что пройденный им путь изогнут, мне же посчастливилось заметить это», — ответил Эйнштейн.

Примерно с 1917 года Эйнштейн начал разрабатывать теорию, которая могла бы распространить полученные им уравнения на космологию. При этом он столкнулся с непреодолимыми математическими трудностями, которые до сих пор не удалось разрешить. Именно поэтому он ввел в уравнения тяготения знаменитый «космологический член», который позволил создать математическую модель Вселенной. Средняя плотность вещества в такой Вселенной постоянна, а пространство замкнуто, хотя и ничем не ограничено. Это трудно себе представить наглядно. Но аналогия с двухмерными жуками еще не раз придет к нам на выручку. Пока же вернемся к тому, о чем упомянули только вскользь. Речь идет о том, как в 1922 г. А. А. Фридман показал, что решение, при котором средняя плотность вещества Вселенной отлична от нуля, можно получить и без «космологического члена». Но при этом геометрические свойства Вселенной должны со временем претерпевать изменения. Короче говоря, такая Вселенная должна расширяться или сжиматься.

Эйнштейн не предполагал, что шар, по которому ползет двухмерный жучок, может раздуваться и сжиматься, как игрушка «уйди-уйди», в которую дует неугомонный малыш.

Эйнштейн не согласился с выводами ленинградского математика и опубликовал по этому поводу заметку. Но потом он разобрался в аргументации Фридмана и направил в редакцию немецкого «Физического журнала» письмо, которое может служить образцом научной добросовестности и человеческого величия. Вот этот замечательный документ:

«Заметка о работе А. Фридмана «О кривизне пространства»

А. Эйнштейн, Берлин
(Поступило 13 мая 1923 года)

В предыдущей заметке я критиковал названную работу. Однако мое возражение основывалось на вычислительной ошибке, в чем я, по совету господина Круткова, убедился из письма господина Фридмана. Я считаю результаты господина Фридмана правильными и исчерпывающими. Оказывается, уравнения поля допускают для структуры пространства наряду со статическими решениями и динамические (то есть изменяющиеся со временем) центрально-симметричные решения».

Фридман нашел два решения гравитационного уравнения. Из первого решения вытекало, что в какой-то момент времени, который условно можно принять за начальный пункт развития Вселенной, все расстояния были бесконечно малыми, а плотность — бесконечно большой. Такой был лик Вселенной за момент до «взрыва». Впрочем, употребив выражение «за момент до взрыва», мы уже допустили неточность. Время «появилось» только с началом расширения сжатой в чудовищный комок Протовселенной. Мы живем во Вселенной, которая все еще разлетается. Возможно, она будет расширяться вечно. По крайней мере, это не противоречит первому решению уравнения. Такое решение дает нам модель Вселенной, которую называют «открытой».

Второе решение приводило к той же исходной точке — сверхплотной Протовселенной, чудовищная гравитация которой не может сосуществовать со временем. Потом «взрыв», образование известных нам форм материи и расширение объема. Все, как и в первом случае. За

одним лишь исключением. Такое расширение не может длиться вечно. Когда-нибудь галактики остановятся в своем стремительном разлете, звезды сблизятся, притянут к себе планеты, сделаются центрами конденсации диффузной материи. Одним словом, Вселенная вновь начнет сжиматься в плотный сгусток. Это «закрытая» модель Вселенной.

До сих пор идут споры, в каком мире мы живем: в «открытом» или «закрытом». Пока наши радиотелескопы говорят, что самые удаленные галактики улетают от нас со все большими скоростями. Но, кто знает, может быть где-то дальше, куда не смогли еще проникнуть зеркала гигантских антенн, галактики начали замедлять свой бег? Пока можно лишь гадать, начала ли сжиматься наша Вселенная или она все еще расширяется и будет расширяться вечно. Но и в том и другом случае у человечества в запасе по крайней мере десять миллиардов лет. Поэтому судьбы мира, в котором мы живем, волнуют прежде всего математиков. Это математическая, а не человеческая проблема. Ведь миллиарды лет — это все равно что вечность.

Именно поэтому не раз возникал соблазн ниспровергнуть всю эту непонятную математику, которая ведет к таким «крамольным» выводам. Проще было назвать теорию относительности реакционной и антинаучной, чем приспособиться к новому мышлению, которым буквально пронизано все современное естествознание. Можно спорить с теорией, но нельзя опровергнуть факты. Вот почему наиболее жаркие споры разгорелись вокруг толкования этих фактов. В конечном счете все сводилось к красному смещению. Высказывались идеи, что видимые нами внегалактические объекты нельзя отождествлять со всей Вселенной, которая неизмеримо больше Вселенной астрономической. Но откуда мы знаем, какую именно часть всей Вселенной занимает наблюдаемая Вселенная? И вообще, что кроме фантастических гипотез можем мы выдвинуть по поводу ненаблюдаемой Вселенной?

Высказывалась мысль, что не обязательно все внегалактические объекты всюду движутся от «центра», и возможно, где-то они устремляются именно «к центру». Но для моделей Вселенной центров просто не существует! И галактические скопления удаляются не от какого-то несуществующего центра, а друг от друга. А поскольку

никто еще не зарегистрировал сближающихся скоплений, то опять-таки нет повода для полемики. Наконец, об этом уже упоминалось, высказывались идеи, что красное смещение обусловлено не обязательно расширением Вселенной. Но и теперь мы можем говорить об этом уверенно, современная наука развеяла последние сомнения по поводу расширения Вселенной. Это наблюдаемый и твердо установленный факт. Поэтому всякая попытка создать теорию эволюции Вселенной неизбежно приводит к весьма вероятному предположению, что наш мир был когда-то сжат в сверхплотном и сравнительно небольшом объеме. Отсюда вытекает и первостепенная задача современной космологии. Она сводится к логическому воссозданию тех процессов, которые могли происходить в сверхплотном состоянии, и непротиворечивому доказательству, что следствием этих процессов и явился окружающий нас мир. Понятно, что одного аппарата теории относительности здесь уже недостаточно. Без учета законов ядерной физики немисливо даже пытаться представить себе сверхплотное состояние вещества. Естественно, что современная космология использует и теорию расширяющегося мира Фридмана, и ядерную физику одновременно. На современном уровне наших знаний проблемы возникновения состояния бесконечной плотности, как и дальнейшей эволюции Вселенной, вряд ли могут быть разрешены. Но вполне реальна задача воссоздать первые стадии расширения вещества. Как уже кратко упоминалось, первая такая гипотеза была разработана Гамовым и развита далее Альфвенom и Германом. Расчеты гипотетических ядерных реакций провели Ферми и Туркевич.

«Однако, — пишет Я. Б. Зельдович, — в свете современных знаний желание этих авторов получить во всех деталях наблюдаемую к настоящему времени распространенность химических элементов представляется наивным. Сейчас нельзя отрицать, что в течение миллиардов лет в звездах происходят сложные реакции ядерного синтеза и количество различных элементов должно было измениться по сравнению с тем, что образовалось сразу после начала расширения. В действительности есть лишь один центральный вопрос: совместима ли картина расширения вещества бесконечной плотности с общими представлениями о составе дозвездного вещества и, главное, о преобладании водорода в этом веществе».

Сверхплотная «бомба»

Первоначальные гипотезы о составе исходного дозвездного вещества рассматривают его почти нацело сложенным из нейтронов. Это казалось правдоподобным, потому что, как мы помним, еще в 1937 г. Л. Д. Ландау показал, как при достижении определенной плотности вещество превращается в нейтроны с ничтожной добавкой электронов и протонов. Но критерием современной космогонической гипотезы является существующее ныне распределение во Вселенной атомов. Почему среди них преобладают водородные атомы? Откуда в земной коре такое огромное количество химических элементов — практически вся менделеевская таблица? На эти вопросы может дать ответ именно теоретическое рассмотрение сверхплотной фазы Метагалактики, периода, когда ядерные реакции шли гораздо активнее, чем сейчас, из-за близости частиц друг к другу.

Если подходить к проблеме строго, то никакая теория эволюции мира не разрешит всех вопросов. Ведь объяснить какой-то этап развития мира — значит описать точными методами науки, каким образом этот этап возник из предыдущего. Но из чего развился предыдущий? Такой вопрос можно ставить последовательно сколько угодно раз. Однако наука не сдвинулась бы с места, если бы она занималась лишь такими проблемами, которые допускают окончательное и всеохватывающее решение.

«Детские» вопросы — головокружительные каскады «откуда» и «почему», идущие бесконечной чередой, не должны смущать ученого, который отчетливо понимает, что всякое научное достижение есть лишь шаг в направлении истины. Поэтому любая космогоническая гипотеза наших дней вынуждена останавливаться на определенной (более или менее ранней) стадии развития Метагалактики, принимать существование этой стадий как постулат, как нечто данное извне. Конечно, чем более удаленной от нас во времени окажется эта постулированная стадия, тем лучше. В прошлом много внимания уделялось проблемам происхождения планетных систем. При этом существование звезд предполагалось вечным и не нуждающимся в объяснении. Дальше, с развитием астрономии, появились работы, в которых содержались по-

пытки описать грандиозные процессы формирования звезд из водородных протяженностей ничтожной плотности. И, наконец, сравнительно недавно постулированная фаза Вселенной была отодвинута на несколько миллиардов лет назад — в тот период, когда не было еще ни звезд, ни спиральных систем, а вся материя Метагалактики был сжата в плотный, почти однородный клубок.

Космогонические теории, касающиеся дозвездной стадии мира, были выдвинуты физиками-теоретиками СССР и США. Хотя подсчеты во всех случаях проводились лишь приблизительно, общее объяснение многих структурных особенностей нашего мира было дано. Эти работы открыли нам основные черты эволюции Вселенной, нарисовали величественную и впечатляющую картину формирования той Метагалактики, которую мы видим сейчас, глядя на небо.

Интересно, что ценность этих теорий только наполовину зависит от типа модели — ведь будь она закрытой или открытой, все равно в прошлом имелся период огромной плотности материи. Различие в поведении двух фридмановских миров относится лишь к будущему, а не к прошлому.

Физики начинают свое объяснение эволюции мира закрытого типа с того момента, когда Метагалактика занимала ничтожный объем — буквально несколько кубических сантиметров. Таким образом, делается попытка проследить за развитием Вселенной как бы с момента ее рождения.

Как давно началось развитие нашей Метагалактики из сверхплотной фазы? Об этом кое-что может сказать эксперимент. Астрономы измерили так называемую постоянную Хаббла, характеризующую современный темп расширения Вселенной. Постоянная эта равна 75 км/сек на миллион парсеков, т. е. на три миллиона световых лет. Это значит, что Галактика, находящаяся сейчас от нас на расстоянии в три миллиона световых лет (вдвое дальше спиральной туманности Андромеды), убегает от Млечного Пути со скоростью 75 км/сек . Нетрудно вычислить, что если пренебречь в первом приближении изменением темпа расширения, эта галактика была рядом с нами сорок миллиардов лет назад. Поправка на то, что раньше разбегание было более быстрым, снижает полученную цифру возраста Метагалактики.

Космогонические гипотезы пытаются с помощью расчета проследить за возможным ходом расширения Вселенной на первом этапе и объяснить, исходя из особенностей этого расширения, известные сейчас свойства мира.

Гамов предложил следующую картину: в начальной стадии, когда радиус кривизны Вселенной составлял несколько сантиметров, существовали только нейтроны. Температура мира была сравнительно низкой, т. е. лучистой энергии в нем практически не было.

Гипотеза «нейтронного начала мира» возникла, по-видимому, из желания сохранить только одну частицу в качестве основной, первозданной. Такой частицей может быть лишь нейтральная — ведь Вселенная в целом не имеет электрического заряда. Тот же факт, что современная Вселенная состоит в основном из водорода, не смущал на первых порах — ведь свободные нейтроны распадаются со временем жизни около тысячи секунд на протоны, электроны и антинейтрино. Протон же с электроном может образовать атомы водорода — когда Вселенная достаточно расширится и частицам «станет посвободнее».

Но более подробный расчет показал, что раньше чем все нейтроны распадутся, неизбежно возникнет путающая все карты реакция между уже родившимися протонами и еще не распавшимися нейтронами. Последовательность ядерных превращений, охватывающих все вещество во Вселенной за какие-то считанные минуты, приведет к возникновению большого процента гелия и других элементов тяжелее водорода. Эти элементы будут стабильными и потом, когда мир расширится, уже не смогут превратиться снова в водород. Таким образом, здесь возникает грубое несоответствие с данными наблюдений о составе звезд и галактик.

Красивая, на первый взгляд, теория о возникновении Вселенной из сверхплотной нейтронной жидкости оказалась как будто несостоятельной.

Дальнейший шаг сделал академик Я. Б. Зельдович: Размышляя над противоречиями космогонических теорий, он пришел к идее, что многие из этих противоречий снимаются, если допустить существование в начальной стадии мира частиц трех сортов: протонов, электронов и нейтрино.

Гипотеза отводит нейтрино принципиально новую роль. Как известно, нейтрино вместе с нейтроном образуется в процессе слияния протона с электроном.

Но, по Зельдовичу, нейтрино еще до начала этих реакций присутствовало в сверхплотной смеси, заполняя промежутки между протонами и электронами. И хотя протоны и электроны находились в таком тесном соседстве, что взаимодействие между ними было вполне возможно, реакция тем не менее не происходила. Этому мешали нейтрино, присутствовавшие в смеси. При большей плотности вещества протоны немедленно реагируют с электронами и дают нейтроны. Новорожденные нейтроны, в свою очередь, тут же объединяются с оставшимися протонами, образуя ядра гелия, затем лития, бериллия, бора и так далее. Уже через полчаса после начала расширения сгустка не осталось бы ни протонов, ни нейтронов, а всюду были бы сплошь и рядом более тяжелые ядра (лития, бора и т. п.). Но этого не случилось из-за нейтринного фона.

Когда Вселенная занимала ничтожный объем и состояла из равных количеств первичастиц — электронов, протонов и нейтрино, количество нейтрино на единицу объема было столь велико и нейтрино имели столь высокую энергию, что все ячейки так называемого фазового пространства вплоть до энергии в 400 миллионов электронвольт были заняты. Но для реакции объединения протона и электрона в нейтрон необходимо излучение нейтрино именно в этом диапазоне энергий. По принципу Паули такого излучения быть не могло, а следовательно, не могла идти реакция образования нейтронов. Протоны и электроны сохранялись из-за мощного нейтринного фона, подавляющего реакцию их слияния.

Скажем несколько слов о фазовом пространстве.

Частицы со спином $1/2$ (все частицы, кроме фотонов и мезонов) подчиняются правилу Паули: для них в фазовом пространстве существуют конечные по своим размерам ячейки, причем в каждой ячейке может находиться только одна частица. Если все ячейки заняты, то никакая новая частица не может появиться в результате распада. Именно потому для «новорожденных» нейтронов «не было места».

Итак, наличие энергичных нейтрино «сохранило» жизнь электронам и протонам. Что же произошло даль-

ше, когда нейтрино из-за расширения мира стали терять энергию и в фазовом пространстве начали освобождаться ячейки? В этот момент электроны и протоны разошлись уже так далеко, что их объединение в нейтроны стало маловероятным из-за недостаточной плотности вещества. Именно благодаря временному экранирующему действию нейтрино мир остался водородным. Вспомним в этой связи, что наша Вселенная почти на 90% состоит из водорода.

Сначала плотность Вселенной была равна плотности ядерного вещества, то есть один кубик материи весил сто миллионов тонн. Через три минуты плотность упала уже до плотности платины, а еще через пятнадцать минут — до плотности воды. Прошло десять часов, и мир стал столь же разреженным, как воздух в нашей комнате. Наконец, сегодня, по прошествии многих миллиардов лет, Вселенная имеет в среднем несколько протонов на кубический сантиметр.

Когда опасность слипания основных частиц в нейтроны миновала, функция нейтринной компоненты первоматерии была исчерпана. Если бы не нейтринный фон, мир выглядел бы сейчас совсем иначе — в нем были бы распространены совершенно другие элементы. Этого не случилось.

Антимир родился в тот же день и в тот же час

Гипотеза сверхплотной «бомбы», из которой, как цыпленок из яйца, вылупилась наша Вселенная, остается равнодушной к великой симметрии мира. Но антивещество властно требует всех прав гражданства. Вполне допустимо предположить, что вещество и антивещество — близнецы, родившиеся в одном и том же месте и в одно и то же время. Естественно допустить также, что оба состояния материи развились в какой-то момент эволюции сверхплотного протовещества. Первая космологическая теория, которая справедливо поступила с антивеществом, была разработана американским физиком Гольдхабером. Гольдхабер назвал первоначальное средоточие Вселенной «универсоном». При распаде эта исходная суперчастица разделилась на две: «космон» и «антикосмон». Как нетрудно понять из названий, «космон» дал начало веществу, «антикосмон» — антивеществу. Пока все это

не более чем фантастика, в лучшем случае феноменологическая «протогипотеза», которую еще только предстоит развить. Гольдхабер не называет причин внезапного распада «универсона». Он лишь проводит здесь параллель с распадом тета-нуль-мезона на положительный и отрицательный пионы. Подобно этим частицам, «космон» и «антикосмон» разлетелись в разные стороны, стремясь скорее покинуть место распада. Последовавший за этим взрыв «космона» дал жизнь окружающему нас миру. Что же касается «антикосмона», то он мог не взорваться и по сей день. Впрочем, он мог и взорваться одновременно с «космоном», но в этом случае Антивселенная находится вне пределов нашей видимости.

Гипотеза Гольдхабера — это как бы предшествующая ступень гипотезы образования Вселенной из протовещества. Кроме того, она вносит недостающий элемент симметрии. В остальном же на нее распространяются все присущие таким гипотезам недостатки. Мы не знаем и никогда не узнаем, откуда появился универсон и почему он вдруг претерпел распад на две противоположные частицы. Но точно так же нам приходится принимать как данное и сверхплотное протовещество, сжатое до ничтожных размеров! И с этим приходится мириться. Как говорят физики, проблема рождения Вселенной относится к числу «неприятных». По этому поводу хорошо сказал профессор И. М. Халатников:

«У людей, впервые слышащих об удивительных результатах космологии, возникает естественный вопрос: а что было до начала возникновения Вселенной? Но в этом случае, если время имело начало, такой вопрос является незаконным. Ведь понятия «до» и «после» без привлечения понятия времени теряют смысл».

К этому тоже приходится привыкать. Если мы принимаем «взрыв» за начало развития Вселенной, то нужно смириться и с тем, что именно с этого момента начался и отсчет времени. «До» этого будильник стоял, точнее, его просто не существовало! Итак, договоримся, что все вопросы, касающиеся того, что было «до», просто не имеют смысла. Это позволит нам иными глазами смотреть и на «неприятные» проблемы. Все отличие этих проблем от гипотез натурфилософов в том, что «неприятные» проблемы опираются на всю мощь экспериментальных и теоретических наук, тогда как главной опорой

натурфилософов была чистая фантазия. Разница очень существенная.

Поэтому не будем спрашивать, что было до начала Вселенной. Блаженный Августин, говорят, заинтересовался тем, что делал бог до того, как создал мир. На этот вопрос могло быть два одинаково неприятных ответа: 1) бога до того как он создал мир, просто не было и 2) бог был занят тем, что создавал ад для людей, задающих глупые вопросы.

Но если Гольдхабер в своей гипотезе исходит из сверхплотной бомбы, а такая посылка, как мы видели, диктуется наблюдаемым расширением Вселенной, то шведские астрофизики Альфвен и Клейн пытаются вывести Метагалактику из облака крайне разреженного вещества. Вряд ли такая попытка достаточно серьезна. Но в гипотезе шведских ученых есть несколько остроумных моментов, из-за которых с ней стоит познакомиться. Тем более, диалектика развития научных идей подсказывает, что наиболее правильное решение рождается на стыке двух противоположных мнений. Закроем глаза на, мягко говоря, не очень ясную отправную точку в гипотезе Альфвена и Клейна, согласно которым облако появилось в результате небольшого изменения энергетического состояния пространства. Знакомство с природой физического вакуума дает нам возможность «переварить» и не такие идеи. Итак, мы приходим к какой-то (чем она хуже внезапного взрыва?) энергетической флуктуации. Чистая энергия обязана превратиться в эквивалентное число пар, состоящих из частицы и античастицы. По сути дела облако Альфвена — Клейна не что иное, как плазма. В первые моменты существования эта плазма настолько разрежена, что столкновения частиц очень редки и аннигиляция между частицами и античастицами почти невозможна. Но постепенно, под действием гравитационных сил, плазма начинает сжиматься. Аннигиляционные вспышки происходят все чаще и чаще, а конечные продукты аннигиляции — фотоны — все более плотным потоком пронизывают пространство. Короче говоря, повышается радиационное давление, которое и приводит в конце концов к равновесию сжимающих и расталкивающих сил. В этих условиях происходит формирование атомов, облаков газа, которое постепенно конденсируется в различные небесные тела.

До этого момента гипотеза шведов выглядит достаточно банально. Но самое любопытное в ней — это идея отделения вещества от антивещества. С ней стоит познакомиться поближе: она может в какой-то мере дополнить другие, более удачные космологические теории. Наконец, она обладает и самостоятельной ценностью.

Еще в период сжатия первичной плазмы, процесса, вероятно, весьма неравномерного, можно ожидать появления различных местных сгущений. Температура в таких сгущениях вследствие повышенной плотности аннигиляции будет, естественно, выше, чем в окружающем газе. Это, в свою очередь, приведет к конвекции. Под действием гравитационных сил более легкий электронно-позитронный газ начнет скопляться в одном участке, который мы условно можем назвать «верхним». Более тяжелый газ, обогащенный нуклонами и антинуклонами, окажется тогда в «нижних» областях. Движение заряженных частиц в плазме вызовет появление электромагнитных сил, которые «рассортируют» частицы с разноименными электрическими зарядами. Не касаясь подробностей механизма электромагнитной сепарации частиц из «верхней» и «нижней» областей, удовольствуемся лишь конечным результатом. А он нам известен заранее, поскольку в нашем мире частицы преобладают над античастицами. В итоге нам ведь нужно соединить позитроны с антипротонами и электроны с протонами и отделить вещество от антивещества. Альфвен, собственно, и предлагает такую гипотетическую схему магнитных полей в сжимаемом облаке, при которой индуцируются необходимые для сепарации электрические токи. Конечно, приведенная им схема произвольна, но она вероятна. А можно ли требовать большего от самой первоначальной гипотезы, касающейся одного из самых неприятных вопросов?

Приняв со всеми возможными допущениями и оговорками, что эволюция первоначальной плазмы приведет в конце концов к образованию облаков водорода и антиводорода, мы сразу же сталкиваемся с новой трудностью. Суть ее предельно ясна. Мы должны уберечь эти облака от аннигиляции.

Подобно тому как из кольцевых магнитных линий можно создать замкнутую трубку, в которой, как в бутылке воду, можно хранить плазму, в будущем, вероят-

но, удастся создать и «бутылку» для хранения античастиц. Сквозь невидимые магнитные стенки ни изнутри, ни снаружи не сможет прорваться ни одна заряженная частица. В таком сосуде можно будет безбоязненно хранить запасы античастиц, не опасаясь аннигиляции. Одним словом, человек научится экранировать вещество от антивещества. Но у нас-то речь идет о процессах, которые гипотетически должны были протекать за миллиарды лет до появления человека! Альфвен нашел вариант самопроизвольной взаимной экранировки облаков водорода и антиводорода. На границе соприкосновения таких облаков неизбежно возникнет аннигиляция. Но бояться ее не нужно. Аннигилируя, атомы и антиатомы породят вихри фотонов и электронно-позитронных пар. Этот радиационный газ, подобно пару, подбрасывающему каплю воды на раскаленной плите, будет стремиться отбросить облака антиподов в разные стороны. Чем сильнее будет протекать аннигиляция, тем энергичнее будут силы расталкивания. Поэтому облака, едва успев войти в соприкосновение, разойдутся, как корабли, подгоняемые ветрами, дующими с разных сторон. Таких облаков-антиподов в первоначальной плазме рождается великое множество. Мы нарочно взяли лишь одну пару, чтобы легче было разобраться в происходящих процессах. Далее начинается самое интересное. Магнитные поля в первичной плазме крайне слабы. При самом оптимистическом подсчете они лежат в пределах 1—2 гаусс. Но чем слабее магнитное поле, тем слабее и ток в природном контуре плазменного сгустка. А это, в свою очередь, означает, что в космической сепарации участвует меньше частиц. По расчетам Альфвена и Клейна, магнитные поля средней силы способны разделить вещество и антивещество, общая масса которых соизмерима с массой звезды. Парадоксальный вывод!

Он означает, что даже наша вполне заурядная система могла возникнуть не из одного водородного облака, а только в процессе слипания нескольких таких облаков. Отсюда легко прийти к выводу, что даже в нашей Галактике половина звездных систем может состоять из антивещества! Астрономам придется здорово потрудиться, чтобы опровергнуть этот ошеломляющий вывод. Звездный свет не несет нам информации о веществе, которое его испускает. И может быть, даже ближайшие на-

ши соседки Альфа Центавра и Тау Кита черпают свою энергию из синтеза антипротонов.

И все же, несмотря на то что электромагнитное излучение одинаково для вещества и антивещества, у нас есть определенные шансы распознать окружающие Солнечную систему антимир. Конечно, если эти антимир действительно существуют. Оставляя в стороне нейтринную астрономию, которая является делом будущего, коснемся так называемых фронтов. Мы употребили это название по аналогии с одноименным атмосферным явлением или с широко известным эффектом, наблюдающимся при столкновении холодных и теплых течений. Атмосферный фронт легко обнаружить по шуму воды, крикам птиц и реву морских животных. Аналогично этому можно попытаться обнаружить аннигиляционный фронт в космосе. Поскольку на границе вещества и антивещества кипят аннигиляционные битвы, то, как говорят астрономы, в «гамма-свете» соответствующие участки ночного неба не могут не выдать себя. Конечно, атмосфера задерживает рентгеновские излучения космоса. Но с помощью спутников гамма-телескопы уже выводились на орбиту. Первые опыты, правда, показали, что космический гамма-фон довольно однороден. Но окончательные выводы на основании этого делать нельзя. Потребуются еще десятки и сотни точных измерений. Да и гамма-телескопы еще не настолько совершенны, чтобы мы окончательно отказались от идеи «ближних» антимиров.

Впрочем, кроме гамма-астрономии есть еще одна возможность подтвердить или опровергнуть гипотезу шведских астрофизиков. Речь идет об особенностях аннигиляционных фронтов, на которую обратил внимание советский ученый Н. А. Власов. Как мы уже знаем, на короткое мгновение перед аннигиляцией частицы и античастицы образуют псевдоатомные структуры — протоний (протонно-антипротонная пара) и позитроний (электронно-позитронная пара). Протоний и позитроний обладают избыточной энергией. Поэтому прежде чем исчезнуть, они успевают испустить световые кванты. Вполне понятно, что квазиатомные структуры обладают строго определенными спектрами. На основании этого Н. А. Власов и предлагает изучить спектры всех даже самых слабых свечений в пространстве. Возможно, что

таким путем мы случайно наткнемся на излучение, спектральный состав которого характерен для квазиатомов аннигиляционных фронтов.

Неисчерпаемая Вселенная

Предприняв попытку рассказать, что было, вернемся теперь к не менее жгучей проблеме — что будет. А. А. Фридман получил свои модели в 1922—1924 годах. С тех пор прошло свыше четырех десятилетий. Посмотрим, что нового добавила современная наука к увлекательнейшей проблеме судьбы Вселенной. Сразу же скажем, что никаких принципиальных сдвигов в этой области пока нет. И это понятно. Общая теория относительности и по сей день остается наиболее совершенной из всех известных нам систем мира. Уравнения тяготения Эйнштейна все еще остаются объектом самого пристального внимания теоретиков. Несколько лет назад известные советские ученые Е. М. Лифшиц и И. М. Халатников предприняли попытку уточнить фридмановские расчеты. В результате они пришли к исключительно интересному выводу. Оказалось, что закрытая модель явилась результатом известной идеализации Вселенной, тех чисто математических упрощений, к которым вынужден был прибегнуть ленинградский математик в своих вычислениях.

Венцом сложнейших расчетов Е. М. Лифшица и И. М. Халатникова явился довольно оптимистический вывод, что Вселенная уже никогда не вернется к сверхплотному состоянию и если она даже когда-нибудь станет сжиматься, то сжатие будет весьма ограниченным. Звезды во всяком случае не сольются воедино.

Но этот вывод тоже нельзя считать окончательным. Фридмановские модели пока не сняты с повестки дня. Но дело не только в них. Самое важное, что в лице человека природа смогла осмыслить свою судьбу. Пусть это только первый штрих, ориентировочная прикидка. Но каков замысел! Сколь дерзновенна должна быть мысль, отважившаяся предсказать судьбу Вселенной!

В 1955 г. советский астроном А. Л. Зельманов показал, что если при решении уравнений тяготения учитывать наблюдаемые факты неоднородности Вселенной, то даже в первом приближении, когда принимается нуле-

вая средняя плотность вещества, число систем отсчета, в которых Вселенная бесконечна, сколь угодно велико. Но столь же велико и число систем отсчета, в которых она оказывается пространственно конечной. Дальнейшее развитие этих работ привело А. Л. Зельманова в 1963 г. к выводу, что и для «конечной» Вселенной общепринятые понятия «конечного» и «бесконечного» вряд ли применимы. Совершенно очевидно, что нельзя прямо доказать конечность или бесконечность Вселенной. Ведь человеческий опыт конечен. Конечны, хотя и очень велики, возможности нашего мозга, конечно и число людей, которые жили, живут и будут жить на нашей Земле. Вряд ли правильным будет считать, что существует какое-то абсолютное философское понятие бесконечности, не зависящее от конкретных результатов, к которым приходит естествознание.

Еще сложнее, чем с конечностью и бесконечностью пространства, обстоит дело с проблемой ограниченности времени. Пространство проще представить себе, чем время. Время вообще трудно осознать конкретно. Время неразрывно связано с пространством. Но это мало облегчает задачу. Поэтому, чтобы не ломать долго голову, наметим возможные «модели времени». Очевидно, их две. Время Вселенной либо ограничено, либо неограниченно. Исходя из этого, мы можем представить себе четыре типа модели Вселенной:

1. бесконечная в пространстве и во времени;
2. конечная в пространстве и бесконечная во времени;
3. бесконечная в пространстве и конечная во времени;
4. конечная в пространстве и во времени.

Не следует думать, однако, что когда мы говорим о конечности времени, то это само собой предполагает его начало и конец. Ведь понятия «конечное» и «ограниченное» отнюдь не адекватны. То, что ограничено, безусловно, и конечно тоже. Но конечное не обязательно должно иметь границы, конец и начало в данном случае. Обратимся к нашим верным мыслящим жучкам. На этот раз мы поселим их на исчезающе тонком кольце. Поэтому, в отличие от прошлого случая, когда жучки жили в двухмерном мире, окружающий их мир сводится лишь к одному измерению — длине. Понятно, что о ширине и высоте мыслящие жучки не имеют ни малейшего представления. Совершив кругосветное путешествие, од-

номерный Колумб убедился, что сделал величайшее открытие. Прежде всего он не встретил никаких препятствий, что означает отсутствие в его мире конца и начала. С другой стороны, он сумел измерить длину этого мира, что однозначно предполагает конечность. Вот и представьте себе, как несчастный жучок станет выпутываться из двух взаимоисключающих друг друга истин. Примерно так же обстоит дело и с проблемой замкнутого времени. Здесь каждый из нас находится в положении жучка. По отношению ко Вселенной в целом привычное нам понятие времени неприменимо. Оно просто теряет свой смысл, столь конкретный и ясный в условиях нашего ограниченного опыта.

Проблемы конечности и бесконечности одинаково остро стоят и в космогонии, и в тех областях физики или кибернетики, которые вообще не занимаются судьбами Вселенной. Математики даже предложили совсем избавиться от бесконечности, чтобы избежать ряда противоречий. «Машинная» математика быстродействующих кибернетических устройств тоже не хочет мириться с понятием бесконечности. Слишком уж оно отрешенно, слишком идеально и философично! Тем более что еще никто не доказал, что это понятие не является всего лишь абстракцией, лишенной любых аналогий в окружающем нас мире. Это ново, ошеломительно. Но, может быть, это к тому же и верно. Право, стоит подумать, не слишком ли мы свыклись с понятием бесконечности. Лобачевский сказал, что параллельных линий не существует, и наш мир от этого не обрушился. Напротив, он стал богаче и шире. Может, и с бесконечностью обстоит точно так же? Стоит только отказаться от нее, и гордые узлы развяжутся сами собой.

Понятие бесконечности сыграло в истории нашей цивилизации громадную роль. Без него вряд ли бы удалось создать дифференциальное и интегральное исчисление. Но это не должно мешать нам в нашей переоценке. Тем более что она отнюдь не будет радикальной. Дело здесь в принципе. Отнюдь не просто объявить бесконечное конечным. Но что если это бесконечное всего лишь синоним «громадно большого» (или «громадно» малого) неопределенного? Можем мы так рассуждать? Можем! И, главное, никаких потрясений основ. Все остается на месте. Мы только избавились от некоей, почти мистической

абстракции, с которой давным-давно свыклись. Теперь наша дилемма бесконечности или конечности Вселенной стала вдвойне абсурдной.

Пожалуй, на этом можно было бы и закончить рассказ о судьбах мира. Но нужно покончить еще с одной иллюзией. Говорят, что поскольку сам человек смертен, он черпает утешение в вечности и бесконечности Вселенной. Вряд ли эта мысль так уж бесспорна. Но как бы там ни было, в задачу науки не должна входить лесть человеческой слабости или могуществу. Посягая на бесконечность Вселенной, наука ничего не отнимает у людей. Вселенная все равно остается неисчерпаемой и невообразимо громадной во времени и пространстве по сравнению с нашими человеческими масштабами.

Задача разума — познавать мир. А мир для разума неисчерпаем.

Вот и стоит могучий и гордый Человек на перекрестке великих дорог. С каждым днем расширяется перед ним горизонт. Но конца дорогам не видно. Нет конца у этих дорог.

В шар земной упираясь ногами,
Солнца шар я держу на руках.
Я как мост меж Землею и Солнцем.

Этими строками Межелайтиса автор прощается с читателем, разделившим с ним все тяготы долгого и трудного пути от крохотных частичек до всей Вселенной и от туманных доисторических тысячелетий до сегодняшнего дня.



СОДЕРЖАНИЕ

ЛИЦОМ К ЛИЦУ СО ВСЕЛЕННОЙ	3
ЧАСТЬ 1. ВЗГЛЯД НАЗАД	7
ЧАСТЬ 2. КИРПИЧИКИ МИРОЗДАНИЯ .	94
ЧАСТЬ 3. В ПРЕДДВЕРИИ ЕДИНОЙ ТЕОРИИ	226
ЧАСТЬ 4. ПРОСТРАНСТВО. ВРЕМЯ. ВАКУУМ	285
ЧАСТЬ 5. МЕГАМИР	341
ЧАСТЬ 6. ВСЕЛЕННАЯ И БЕСКОНЕЧНОСТЬ , . . . ,	419

Е. И. ПАРНОВ

НА ПЕРЕКРЕСТКЕ БЕСКОНЕЧНОСТЕЙ

Редактор Г. Л. Смолян

Художественный редактор

А. С. Александров

Технический редактор Р. А. Углова

Корректор Г. Л. Кокосова

Сдано в набор 30/VIII — 1967 г.

Подписано в печать 5/XI — 1967 г. Т-15338

Бумага 84×108/32, типографская № 2

Усл. печ. л. 24,36. Уч.-изд. л. 24,44

Тираж 60 000 экз. Заказ изд. 1480.

Зак. тип. 1595. Цена 91 коп.

Атомиздат, Москва, К-31, ул. Жданова, 5/7.

Московская типография № 4 Главполиграфпрома

Комитета по печати при Совете Министров СССР

Б. Переяславская, 46

ВНИМАНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ!

В ПРОДАЖЕ ИМЕЮТСЯ СЛЕДУЮЩИЕ КНИГИ:

АРТАМКИН В. Н., УШАКОВ Б. А. Необыкновенные превращения атомной энергии. Изд. 2, переработ. и доп. 1966, 110 стр., 17 коп.

Величайшее достижение человеческого гения — открытие электрической энергии. Но чтобы получить ее, надо химическую энергию угля, нефти или газа превратить в тепловую, тепловую — в механическую, а уже механическую — в электрическую. А для этого обязательно нужны паровые котлы и турбины или двигатели внутреннего сгорания, электрогенераторы, громоздкое вспомогательное оборудование. Поэтому ученые и инженеры так упорно работают над упрощением этого цикла, чтобы решить проблему, как ядерную энергию непосредственно превратить в электрическую.

Эта книга — живой, увлекательный рассказ о непосредственном преобразовании ядерной энергии в электрическую, о том, как для этого используют радиоактивные изотопы, полупроводники, термоэлектрические и термоэмиссионные преобразователи, магнитогиродинамические генераторы, плазменные реакторы. Читатель узнает в ней о замечательных перспективах, которые открывает перед человечеством получение электроэнергии методами непосредственного преобразования.

ПАРНОВ Е. И. Дальний поиск, 1963, 256 стр., 41 коп.

Из чего построена вся окружающая нас природа и мы сами? Где те простейшие кирпичики мироздания, из которых состоит все? Чтобы ответить на этот вопрос, нужен дальний поиск науки. Поиск, направленный в кладовые вещества, — в сердце атомного ядра. Наука открывает все новые и новые элементарные частицы. Но сквозь странность и хаос их движений, сквозь причудливость их распадов и лучей проглядывает изумительная стройность. Тайны, которые открывает нам атом, позволяют понять процессы, совершающиеся во Вселенной.

«Дальний поиск» — это прежде всего научно-популярная книга о тайнах атомного ядра. Но для открытия этих тайн часто приходится обращаться к законам мегамира, искать эти тайны в космических лучах, звездах, галактиках.

В книге нет формул, физические проблемы излагаются в ней без привлечения математического аппарата. Книга рассчитана на широкий круг читателей, интересующихся проблемами современной физики и прежде всего ядерной физики.

РОМЕР А. Неугомонный атом. Пер. с англ. 1963, 128 стр., 35 коп.

В настоящее время нелегко написать популярную книгу по атомной физике, которая не была бы вариантом какой-нибудь известной книги. Тем не менее автору удалось написать небольшую по объему оригинальную книгу, интересную не только для школьников, но и для более взрослых читателей. Автор начинает книгу с открытия Рентгеном проникающих лучей и в конце подводит читателя к ядерной модели атома Резерфорда — Бора. Однако не только в содержании дело.

Читателя здесь привлекает характер изложения: интересный рассказ — о событиях теперь уже далеких дней — человека, который будто бы был свидетелем или даже участником этих событий.

Книга предназначена для самого широкого круга читателей — школьников и взрослых.

СЕНЧЕНКОВ А. П. Атомные ракеты и проблемы освоения космоса. 1964, 184 стр., 28 коп.

Сможет ли человек, создав атомную ракету, совершить путешествие на другие планеты? Как будет устроена космическая атомная ракета? Какие работы и эксперименты проводятся по ее созданию? Приземлялся ли когда-либо космический атомный корабль на Земле? На эти и многие другие вопросы по проблеме межзвездных перелетов читатель найдет ответ в книге А. П. Сенченкова.

Рассматриваемые в книге вопросы изложены автором просто и доходчиво. Она рассчитана на самые широкие круги читателей, интересующихся космонавтикой. С интересом прочтут ее студенты и школьники старших классов.

Заказы на книги направляйте по адресу:
Москва, Центр, ул. Петровка, 15
Книжный магазин № 8

АТОМИЗДАТ

91 коп.

АТОМИЗДАТ • 1967

Е.И. ПАРНОВ • НА ПЕРЕКРЕСТКЕ БЕСКОНЕЧНОСТЕЙ