

К. ГИЛЬЗИН

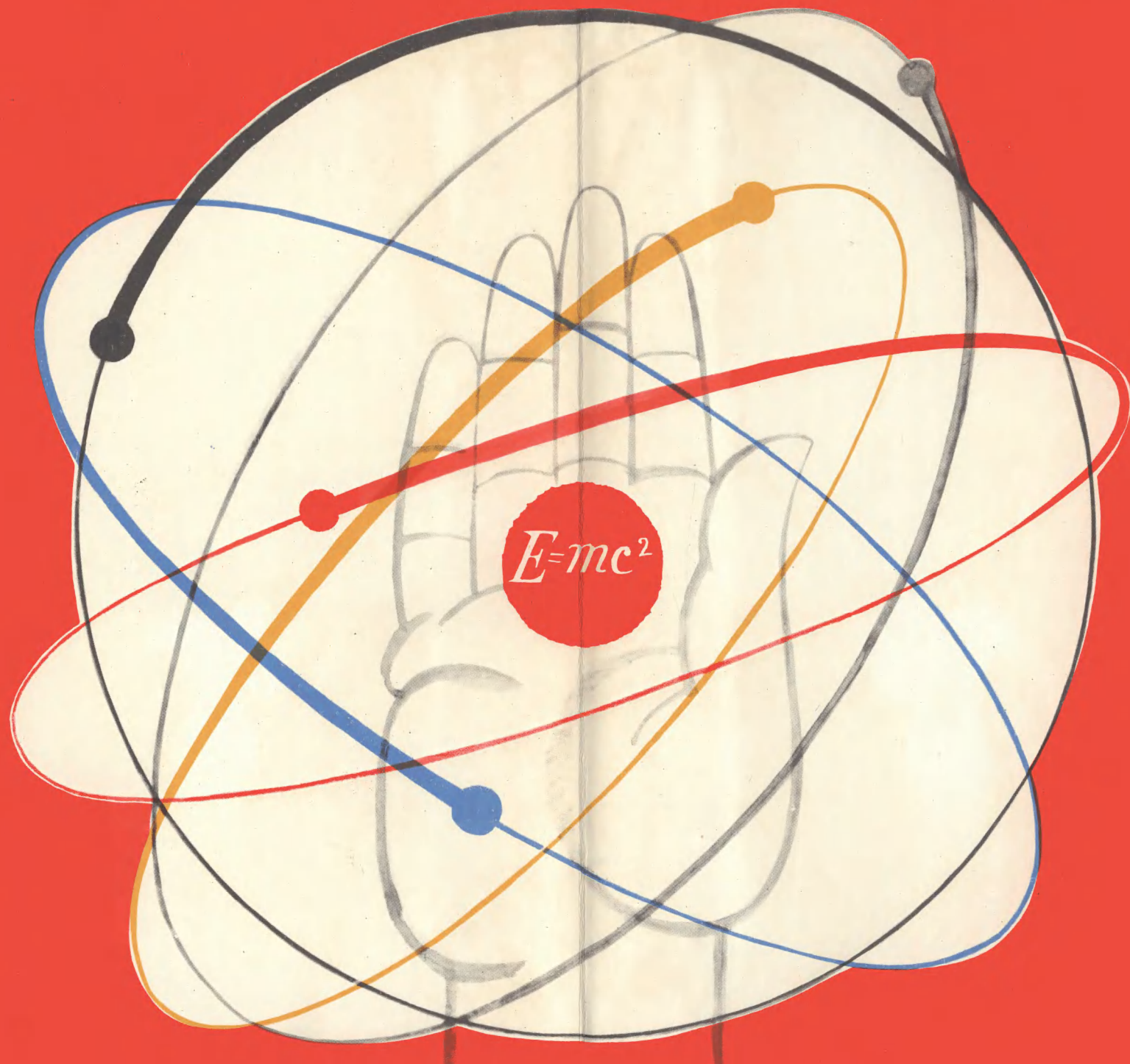


В НЕОБЫКНОВЕННОМ

МИРЕ



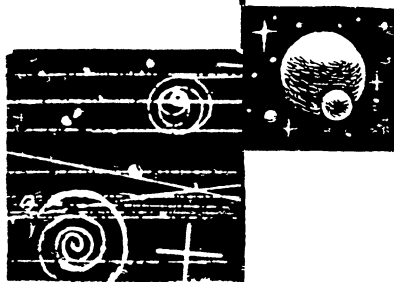
ИЗДАТЕЛЬСТВО „ДЕТСКАЯ ЛИТЕРАТУРА“



К. ГИЛЬЗИН



В НЕОБЫКНОВЕННОМ МИРЕ



Москва
«Детская
литература»

1974

ИЗДАНИЕ 2-е,
исправленное и дополненное
(первое издание книги вышло в 1966 году под названием
«Новеллы о мире иных констант»)

Научно-публицистическая литература

Чтобы сделать наглядным сокровенный смысл важнейших законов природы, о которых идет речь в этой книге, автор использует необычный прием. Он переносит читателя в воображаемый мир, отличающийся тем, что в нем основные постоянные величины, или так называемые физические константы, от которых зависят природные явления, оказываются иными, чем в действительности. Какие неожиданные, фантастические изменения претерпевает при этом окружающий нас мир! Так раскрываются тайные пружины, управляющие Вселенной.

Автор книги — ученый-специалист и талантливый популяризатор науки. Созданные им книги («Путешествие к далеким мирам», «В небе завтрашнего дня», «Электрические межпланетные корабли», «Двигатели невиданных скоростей», «Эра космическая» и др.) пользуются большим успехом у юных и взрослых читателей.

Оформление Ю. Копейко



Scan AAW

Г $\frac{70803-502}{M101(03)74}$ 324—74

© ИЗДАТЕЛЬСТВО «ДЕТСКАЯ ЛИТЕРАТУРА», 1974 г., с изменениями.

ПРЕДИСЛОВИЕ

О каком «необыкновенном» мире пойдет речь в книге? Где находится этот мир и что собой представляет?

Такие или примерно такие мысли появляются, вероятно, у читателя, впервые взявшего эту книгу в руки.

Ну что ж, скажем сразу: в книге много необычного. По существу, она вся о необычном. Но вместе с тем это необычное не за тридевять земель, не где-то в далеких галактиках. Оно вокруг нас и таится в непосредственно окружающем нас мире, кажется, таком известном и привычном.

Мы не случайно сказали «таится». Природа открывает свои тайны лишь пытливому и ищущему уму. Для того, кто равнодушен к истинному познанию, кто зубрит формулы физических или химических законов, не вдумываясь в их глубокий внутренний смысл, эти тайны так и останутся нераскрытыми, неизвестными.

Зато какой увлекательный мир открывается перед пристальным взором, стремящимся проникнуть в святая святых природы, найти скрытые законы, управляющие Вселенной! Нет ничего более волнующего, более драгоценного в жизни человека, чем эти минуты глубокого проникновения в сокровенную суть вещей. Пожалуй, только в эти минуты человек чувствует себя истинным властелином мира...

Прекрасен окружающий нас мир природы! Голубизна неба и звездный шатер, лучи солнца и свет луны, океанская гладь и бег горной реки, тишина леса и даль полей — все дорого и мило тому, кто любит природу и не устает любоваться ею, постигать ее тайны.

Но не менее прекрасен и мир вещей, создаваемых человеком. Полет гигантской стальной птицы, невиданные синтетические материалы, гул турбин в бетонном ложе плотины на могучей реке, сияние экрана телевизора, алхимическое таинство превращений в недрах атомного котла — сколько их, бесмертных проявлений величия гения и труда человека!..

Наука изучает и переделывает мир. Она стремится глубже понять законы природы, чтобы поставить на службу человеку могучие стихийные силы, сделать жизнь на земле лучше и краше. Тысячи ученых разных специальностей — математики, физики, астрономы, химики, биологи, техники — дерзновенно трудятся на благо науки.

Но разве только ученые стремятся познать мир, понять его? Разве у каждого из нас не бывает мгновений, когда задумываешься над самым, кажется, обычным, останавливаешься перед хорошо знакомым? Когда вдруг спрашиваешь себя: а почему, собственно, нас окружает именно такой мир, а не какой-нибудь другой? Может быть, возможен или даже существует иной мир?

Человек не был бы самим собой, если бы не стремился осмыслить все происходящее вокруг. И чем цивилизованнее человек, тем шире круг его интересов и сильнее желание «докопаться» до всеобщей сути...

В повседневной жизни мы обычно не задумываемся над внутренним смыслом знакомых явлений, просто привыкаем к ним. А ведь многое из того, что кажется на первый взгляд таким простым и само собой разумеющимся, на самом деле вовсе не столь очевидно.

Вот только один пример. Все не раз слышали и хорошо знают, что скорость света в вакууме равна примерно $300\,000\text{ км/сек}$. Но почему именно триста тысяч, а не три тысячи или три миллиона? Вряд ли можно предположить здесь какую-то случайность, да и что это за такая «случайность», от которой зависит сам облик мира? К сожалению, наука пока не может ответить на этот и другие подобные вопросы.

А каким стал бы на самом деле наш мир, если бы скорость света сильно изменилась по величине? Может быть, ничего существенного и не произошло бы, все осталось по-старому? Или же мир стал бы неузнаваемым?

Но скорость света — это лишь одна из ряда физических констант, то есть постоянных величин, которые входят в многочисленные уравнения физических процессов Вселенной. Когда в школе изучают эти процессы и пишут соответствую-

щие уравнения (кто не помнит, например, формулу закона всемирного тяготения Ньютона или уравнение Эйнштейна, связывающее массу и энергию?), то обычно только мимоходом упоминают о входящих в уравнения константах.

Многое ли, например, мы узнаем в школе о гравитационной постоянной в формуле закона всемирного тяготения? Разве только то, что она есть константа и, значит, не меняется по величине и ни от чего не зависит (об этом факте школьники узнают с видимым облегчением)... А вот для науки гравитационная постоянная также является одной из величайших неразгаданных тайн природы. Почему она именно такая, а не иная? Как она связана с другими, столь же фундаментальными по характеру физическими константами? Да и константы ли они все на самом деле?

Ответы на эти первостепенной важности вопросы еще не получены.

В обширном арсенале науки, штурмующей тайны природы, есть одно очень мощное оружие—сравнительный эксперимент. Чтобы установить влияние одного какого-либо фактора на данное явление, например на протекание физического или химического процесса, ученые ставят серию опытов, в которых от опыта к опыту меняют только этот изучаемый фактор. Само собой разумеется, что подобный метод был бы превосходным и для изучения основных физических констант, этих «китов», на которых зиждется Вселенная. Однако, увы, он невозможен: не зря же, в конце концов, интересующие нас величины называются константами.

Но если такой эксперимент нельзя осуществить в действительности, то кто мешает нам сделать это мысленно? Что, если перенестись из нашего реального мира в такой, где какая-нибудь из физических констант имеет иное значение, сильно отличающееся от истинного?

Пожалуй, такое путешествие нового Гулливера могло бы оказаться и весьма интересным и необычным...

Если хочешь, читатель, мы и в самом деле отправимся в подобное путешествие в необыкновенный мир. Собственно, это будет даже не одно, а серия путешествий; им и посвящены главы книги. В каждой главе мы посетим два воображаемых мира; пусть это будут планеты в неизвестной галактике или же, если угодно, наша Земля, но уже перенесенная в новый, действительно необыкновенный мир, даже два таких мира. Один из них отличается от нашего, истинного мира сильно увеличенным значением какой-либо важной физической кон-

станты (впрочем, есть ли вообще не важные?), а другой — уменьшенным.

Итак, в путь. Какие именно нам предстоит совершить путешествия, какие физические константы станут иными и как это изменит мир, ты узнаешь из книги. А вот каким способом попадем мы в мир иных констант, этого ты узнать не сможешь, ибо этого не знает и автор. Впрочем, неправда, конечно, знает — изменение констант невозможно, как невозможны, следовательно, и наши путешествия. Но зато эти путешествия помогут лучше узнать окружающий нас мир, а заодно и решить, лучше или хуже воображаемый мир иных констант, чем наш, истинный. Пожалуй, Земля покажется после таких путешествий во сто крат уютнее и милее...



часть
первая

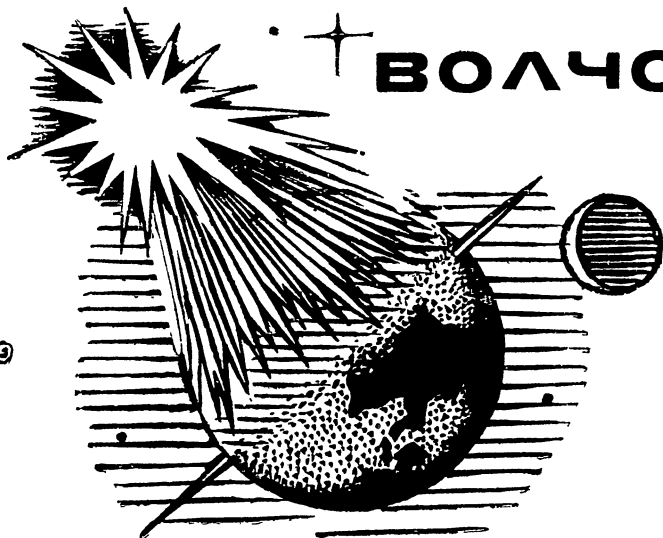
ЗНАКОМЫЕ НЕЗНАКОМЦЫ

В ЭТОЙ, ПЕРВОЙ ЧАСТИ КНИГИ
РАССКАЗЫВАЕТСЯ О НЕКОТОРЫХ
ФИЗИЧЕСКИХ КОНСТАНТАХ, ИГРАЮ-
ЩИХ БОЛЬШУЮ РОЛЬ В НАШЕЙ ПО-
ВСЕДНЕВНОЙ ЖИЗНИ. ИХ СЧИТАЮТ
ОБЫЧНО ХОРОШО ЗНАКОМЫМИ. НО
ТАК ЛИ ЭТО?



1

КОСМИЧЕСКИЙ ВОЛЧОК



СЛИШКОМ ТОЧНЫЕ ЧАСЫ ■ СУТКИ НЕ ОБ-
 ЛАДАЮТ ПОСТОЯНСТВОМ ■ СОН ДЛИ-
 НОЙ В 80 ЧАСОВ! ■ СУТОЧНОЕ ВРА-
 ЩЕНИЕ, МИРОВОЙ ОКЕАН И КЛИ-
 МАТ КОНТИНЕНТОВ ■ КАК
 ПОХУДЕТЬ НА ОДНУ ТРЕТЬ ■
 КАТАСТРОФИЧЕСКАЯ НЕ-
 ВЕСОМОСТЬ НА ЭКВА-
 ТОРЕ ■ ОКЕАНЫ
 ПЕРЕМЕСТИЛИСЬ
 НА НЕБО ■
 ЗЕМЛЕ НИ-
 ЧТО НЕ
 ГРО-
 ЗИТ

Первая физическая константа, о которой у нас пойдет речь,— это сутки. Сутки? Какая же это константа?

Но разве не с удивительной закономерностью день сменяется ночью, а ночь — днем? Конечно, можно измерять время разными единицами — это, в конце концов, дело условное,— и вовсе не обязательно, чтобы в сутках было именно 24 часа. Может быть совсем другое количество иных единиц измерения. Но всегда от полуночи до полуночи или от полудня до полудня будет проходить одно и то же время — длительность суток не изменится. Замечательное постоянство суток, лежащее в основе астрономического измерения времени, играет очень большую роль не только в разных отраслях науки, но и в нашей обыденной жизни. Правда, эта роль стала настолько привычной, что мы ее обычно просто не замечаем.

Однако так ли уж постоянны сутки?

Оказывается, истинная длительность суток вовсе не остается строго постоянной. И если в течение многих веков длительность суток была эталоном точного времени для астрономов и других ученых, то теперь уже дело обстоит не так. Оказалось, что сутки вовсе не идеальный эталон, хотя и до сих пор астрономическое время, пусть и неравномерное, служит не одним только астрономам, но и многим другим ученым и специалистам, имеющим дело с определением координат своего месторасположения по звездам.

Однако для очень многих отраслей науки и техники необходимо строго равномерное время, одинаковая, всегда одна и та же по величине секунда. Какое дело, например, инженеру, измеряющему скорость вращения высокооборотной турбины, до того, что сутки не постоянны? Или физику, химику, биологу, измеряющим длительность изучаемых ими процессов? Всем им нужен абсолютно точный и равномерный эталон времени. Длительность суток в качестве подобного эталона уже не подходит.

И сутки уступили меру точного времени... атомным пульсациям. Атомы колеблются с такой поразительно постоянной частотой (порядка миллиардов и десятков миллиардов раз в секунду), что ошибка в отсчете времени с помощью атомных часов, основанных на использовании этой частоты, достигает одной секунды за десятки тысяч лет! Впрочем, и атомные часы не являются уже рекордсменами в отношении точности отсчета времени — физика знает и более точные приборы.

Атомные часы впервые с абсолютной достоверностью установили, что сутки не строго постоянны, то есть что астроно-

мическое время вовсе не так точно, хотя ученым об этом было известно и раньше, в частности по показаниям кварцевых часов¹. Но так как не только астрономы или космонавты, но, например, и штурманы морских и воздушных кораблей пользуются именно астрономическим временем (по нему определяют положение Солнца, Луны, звезд и т. п.), то атомные часы могли бы ввести их в заблуждение. Эти часы оказались «слишком точными»...

Чтобы все-таки можно было пользоваться атомными часами для проверки астрономических, их приходится «подправлять» по менее точным астрономическим часам. Когда разница в отсчете времени становится слишком большой (даже доли секунды — это уже большая разница, когда речь идет о точном времени), то «стрелки» атомных часов нужно переводить, хотя именно эти часы совершенно безгрешны...

Впервые многие имеющиеся в мире атомные часы были переведены назад на 0,1 сек в 1961 году. Второй раз это случилось в полночь 31 октября 1963 года, затем — 1 апреля 1964 года.

Вряд ли эти частые дробные поправки удобны для тех, кому приходится иметь дело с точным временем. А в наш век это относится к очень многим людям на земле.

Вот поэтому ученые разных стран договорились о введении новой системы всемирного координирования точного времени, единицей которого стала не астрономическая секунда, а атомная.

Советский Союз перешел на эту систему в 0 часов 00 минут 00 секунд 1 января 1972 года, и в эфире впервые прозвучали радиосигналы точного времени уже по новой системе.

Раньше хорошо всем известные сигналы давались по сверхточным, упрятым глубоко в подземелье кварцевым часам, которые выверялись по астрономическому эталону времени — длительности суток. Теперь эти сигналы даются по атомному Государственному эталону точного времени, начавшему действовать в СССР в 1967 году.

Точные часы во всех странах теперь «идут в ногу», отсчитывают время одинаково, а интервалы между радиосигналами всегда одни и те же.

Но как быть с расхождением атомных и астрономических часов? Приходится периодически «подправлять»... сутки.

¹ В этих часах пластинка кристалла кварца колеблется с поразительной постоянной частотой.

Впервые за всю историю человечества сутки 1 июля 1972 года оказались на одну секунду длиннее обычных — в ночь с 30 июня на 1 июля во всем мире сигналы точного времени по радио были скорректированы.

У нас в стране это произошло в 2 часа 59 минут ночи (0 часов по Гринвичу) — следующая за этим минута по часам Государственной службы времени длилась... 61 секунду! И в дальнейшем изредка придется вносить подобные поправки на целую секунду — это гораздо удобнее, чем частые поправки на доли секунды.

Астрономические часы «врут» не так уж сильно. И все же атомные часы показали, что постоянство суток не идеально: они то чуть удлиняются, то сокращаются.

За десятилетие, с 1956-го по 1966 год, сутки трижды внезапно удлинялись, а затем снова уменьшались.

В наше время, по некоторым данным, сутки удлиняются в среднем на 0,002 сек за сто лет, хотя, например, в 1965 году это «отставание» было почти в сто раз более сильным. А в 1872 году, когда, по данным науки, сутки оказались самыми короткими за последние четыреста лет, Земля вела себя, как часы, которые «спешат» примерно на одну секунду в год...

Не всегда ученым удастся установить достоверные причины подобных изменений.

Как видите, эти изменения так малы, что в течение жизни одного поколения людей продолжительность суток практически не меняется¹ и с полным правом может считаться физической константой. И очень важной константой.

А почему, собственно говоря, важной? Разве что-нибудь существенно изменилось бы, будь сутки длиннее или короче?

Ясно, что распорядок нашей жизни стал бы иным: пришлось бы привыкать к более короткому или более длинному дню, более короткой и более длинной ночи. Но разве это так уж сложно? Ведь привыкают же, в конце концов, полярники к полугодовой ночи и столь же длинному дню и даже перестают особенно реагировать на эти необычные «сутки». Да и на самочувствии наших космонавтов не слишком сильно сказывалось то, что на их кораблях день сменял ночь примерно через каждые три четверти часа и «сутки» длились всего около полутора часов.

¹ Так, при сохранении современного замедления суточного вращения Земли и в будущем это вращение прекратится полностью только через 100 миллионов лет.

Конечно, в случае длительных космических полетов, например на Марс или Венеру, необычная смена дня и ночи, или, как говорят ученые, изменение биологического ритма, может оказать более серьезное влияние на здоровье и психику космонавтов. Ведь наукой установлено, что в течение суток циклически изменяется биологическая активность не только всех живых организмов, но даже отдельных органов и тканей этих организмов. Изменить ход издавна заведенных биологических «часов», таящихся в каждом из нас, вероятно, безболезненно нельзя. Понятно, что эта проблема в ряду многих других привлекает к себе пристальное внимание ученых и врачей, специалистов по космической биологии и медицине. Но во всех случаях проблема ведь остается биологической, а не физической, а мы говорим о длительности суток как о физической константе. Может быть, как физическая константа длительность суток не столь уж важна?

Нет, это не так. Вспомним, что сутки есть следствие вполне определенного физического явления — вращения земного шара вокруг оси, проходящей через географические полюсы (оно и называется суточным вращением). За одни сутки Земля, этот гигантский космический волчок, совершает один оборот вокруг своей оси; сутки и есть длительность одного оборота¹. Земной шар превращается в точные часы.

Если хотите, можете убедиться в этом, проследив вместе с многочисленными туристами за движением гигантского маятника, длиной 98 м, подвешенного под куполом Исаакиевского собора в Ленинграде. Тяжелый шар с острием вниз, которым заканчивается маятник, отсчитывает время на расчерченном на полу циферблате, вращающемся вместе с Землей. Циферблат вместе с Землей вращается, а плоскость качания маятника не меняет своего положения в пространстве, поэтому он и служит своеобразной стрелкой часов.

Но если сутки — результат вращения Земли, то непостоянство суток, о котором говорилось выше, означает непостоянство скорости вращения земного шара. Чем же оно вызывается?

Это пока ясно науке не до конца. Вероятно, так сказываются процессы, происходящие в ядре Земли, перемещение расплавленных металлов или других вязких веществ в ее недрах.

¹ Точнее говоря, время одного полного оборота земного шара вокруг своей оси несколько меньше суток и равно 23 час 56 мин 4 сек, или 86 164 сек. Это расхождение связано с движением Земли по орбите вокруг Солнца, о чем пойдет речь в следующей главе.

Вызывают неравномерность вращения Земли и перемещения воздушных масс, приливы и отливы, движение воды в реках, выпадение дождя и снега и пр.

Установлено и некоторое влияние солнечной активности: например, при солнечной вспышке 23 февраля 1956 года продолжительность суток увеличилась на 10 миллионов долей секунды, а при вспышке 15 июля 1959 года — даже на 850 таких долей. Интересно, что после каждого подобного удлинения суток, вызванного хромосферной вспышкой на Солнце, сутки затем вновь укорачиваются.

Не исключено, что влияет на скорость вращения земного шара так называемый солнечный ветер — потоки плазмы, непрерывно вытекающие из нашего дневного светила и достигающие Земли; по крайней мере, достоверно установлено влияние этого «ветра» на земное магнитное поле.

По гипотезе советских ученых, особенно сильное влияние на скорость вращения Земли могут оказывать так называемые плазмойды — огромные, во много раз большие по размерам, чем Земля, облака плазмы, выбрасываемые Солнцем в космос при сильных вспышках. Каждое подобное облако плазмы, движущееся с большой скоростью, обладает своим собственным достаточно сильным магнитным полем. В зависимости от того, каково положение относительно Земли этих стремительно мчащихся плазменных «магнитов», они могут либо ускорять, либо замедлять суточное вращение Земли.

Если же говорить о больших промежутках времени, то тут могут играть роль и некоторые другие физические явления. Например, по мнению одного из ученых¹, после образования Земли железо постепенно проникало, или, как говорят, диффундировало, из верхних частей земного шара во внутренние вследствие своей большой плотности. Но когда масса вращающегося тела приближается к оси вращения, то скорость вращения неизбежно увеличивается.

Это свойство вращения часто используют, например, мастера фигурного катания на коньках. Они сначала раскручиваются, расставив руки в стороны, а затем резко сводят их, прижимая к туловищу, — скорость вращения сразу возрастает.

То же примерно могло происходить и с Землей в течение многих тысячелетий — сутки из-за этого постепенно сокращались.

¹ Эта гипотеза высказана в 1964 году английским ученым С. Ранкорном.

Замедление вращения с удлинением суток вытекает из другой высказываемой гипотезы: о постепенном расширении земного шара (об этой гипотезе подробнее будет рассказано в последней главе книги).

Но если это только гипотезы, то бесспорно вековое тормозящее действие Луны и Солнца, постепенно замедляющее скорость вращения Земли; его называют обычно приливным. Силы притяжения к Луне и Солнцу (главным образом к Луне) вызывают такие грандиозные природные явления, как приливы и отливы, когда в движение приводятся миллиарды тонн океанской и морской воды.

По подсчетам ученых, потенциальная энергия всех приливов составляет примерно один миллиард киловатт, что более чем в десять раз превосходит мощность всех гидроэлектростанций земли. Не за горами время, когда эта энергия будет поставлена на службу человеку.

Первые экспериментальные приливные гидроэлектростанции (ПЭС) уже построены, например, во Франции и у нас в стране, в губе Кислой на побережье Баренцева моря. Правда, их мощность невелика, но проектирующиеся ПЭС в Охотском море (Пенжинской губе) и в Белом море (Мезенском заливе) должны иметь мощность, исчисляемую миллионами киловатт.

Приливы и отливы возникают и в атмосфере Земли, и в земной тверди¹. С пунктуальной точностью дважды в сутки каждая точка на поверхности Земли совершает плавные колебания: вверх — вниз, вверх — вниз.

Это трудно заметить, но, например, Москва со всеми москвичами через каждые шесть часов поднимается и опускается примерно на полметра, точнее на 40 см. На экваторе эти колебания достигают даже 55 см. Эти бегущие на поверхности Земли против ее вращения волны приливов (главным образом сказываются волны в земной тверди — литосфере) неизбежно, хотя и медленно, замедляют суточное вращение Земли в результате трения перемещающихся масс о неподвижные. Такое замедление составляет одну-две тысячные доли секунды за столетие. Интересно, что впервые об этом замедлении говорил двести лет назад известный философ Э. Кант.

Ученые считают, что вызванное приливными волнами постепенное, или вековое, как его называют, изменение скорости

¹ Существует гипотеза, по которой приливы в земной коре (литосфере) являются источником энергии, вызывающей образование магмы при вулканических извержениях. По расчетам, энергия этих приливов достаточна для превращения в расплавленную магму 30 км³ земной коры!

суточного вращения земного шара приведет когда-нибудь, через многие миллионы лет, к столь сильному замедлению этого вращения, что сутки удлинятся до... лунного месяца, то есть до длительности одного полного оборота Луны вокруг Земли. Тогда Земля будет всегда обращена к Луне одной и той же стороной. Это значит, что с Землей произойдет то же самое, что уже произошло с Луной, которая постоянно обращена к Земле одной стороной, вследствие чего сутки на Луне равны лунному месяцу. Когда и Земля займет определенное положение относительно Луны и они так и будут двигаться в пространстве, сутки на Земле сравняются с лунными. Правда, за это время Луна успеет настолько удалиться от Земли (это еще одно следствие приливного действия), что лунный месяц, а значит, и сутки на Земле и Луне, будет длиться уже не 28, а 55 нынешних земных суток.

А как сказывается приливное трение на суточном вращении других планет Солнечной системы? Ведь по аналогии с Луной можно ожидать, что приливные силы, действующие со стороны Солнца на планеты, в особенности ближайшие к нему, точно так же замедлят их суточное вращение, пока сутки на планете не станут равными... году, то есть планета не обратится к Солнцу всегда одной и той же стороной. Так ли это на самом деле?

И да и нет. До недавнего времени ученые считали, в частности, что с Меркурием дело обстоит именно так и он всегда обращен к Солнцу одной и той же стороной. Поскольку год на Меркурии длится 88 земных суток, то такую же длительность, следовательно, имеют и меркурианские сутки. Однако радиоастрономические и фотографические наблюдения последних лет показали, что сутки на Меркурии длятся не 88, а только примерно 59 земных. Значит, Меркурий не обращен к Солнцу одной и той же стороной, а медленно вращается относительно него, и, следовательно, Солнце так же медленно проходит по меркурианскому небосводу¹.

Солнечные сутки, то есть промежуток времени между очередными двумя одинаковыми положениями Солнца на небосводе, длятся на Меркурии 176 земных суток, то есть два меркурианских года!

¹ Собственно, не просто проходит, а совершает своеобразный «танец» с петлями — останавливается, идет немного назад, потом снова вперед или восходит, потом снова прячется за горизонт и еще раз восходит. Или зайдет, выглянет еще раз на минутку и уж потом заходит окончательно. Уникальная планета!

Год — день, год — ночь! Впрочем, так происходит только на экваторе, а на полюсах день и ночь делятся в среднем по 44 земных суток — так сказывается очень большой угол наклона оси вращения планеты к плоскости ее орбиты (83°). Очевидно, приливные силы Солнца смогли сильно затормозить суточное вращение Меркурия, но не успели довести свою «работу» до конца. Почему? Может быть, из-за сильной эллиптичности орбиты Меркурия, отличающей его от всех других планет Солнечной системы? Или, как считают некоторые ученые, из-за того, что Меркурий не так уж давно движется по своей нынешней орбите и просто не успел затормозиться? Но тогда какова предыстория Меркурия, его происхождение? Не был ли он раньше спутником Венеры?

Одна тайна сменяется другой. Но, во всяком случае, приливное трение уже сделало свое дело — Меркурий вращается вокруг оси очень медленно. А Венера?

Из-за сплошной облачности, покрывающей эту планету, долгое время никак не удавалось определить скорость ее суточного вращения. На помощь снова пришли могущественные радиоастрономические методы.

И что же оказалось? Один оборот Венеры вокруг оси длится даже больше венерианского года — 243 земных суток, тогда как год равен примерно 225 суткам. Вот уж удивительно! Мало того, в отличие от всех других планет Венера вращается вокруг своей оси «в другую сторону», с востока на запад! Это единственный космический волчок в семье планет, запущенный «не туда». Если бы не это обстоятельство, то, как видно, сутки равнялись бы практически году на Венере и она была бы постоянно обращена к Солнцу одной и той же стороной. Но из-за обратного направления суточного вращения Солнце восходит на небе Венеры, двигаясь с запада на восток, дважды в году.

Тайна суточного вращения Венеры — одна из множества связанных с ней тайн — еще не раскрыта, но можно не сомневаться, что и здесь приливное трение сыграло едва ли не решающую роль. Вероятно, сначала оно полностью затормозило быстрое «прямое» вращение планеты, а затем какая-то причина вызвала ее медленное обратное вращение. Это могло быть, например, столкновение с астероидом.

Но не исключено, что и тут снова сказало свое слово приливное трение, но только вызванное уже не Солнцем, а... Землей.

Мысль о том, что, может быть, именно Земля регулирует

ныне вращение Венеры, возникла потому, что каждый раз, когда Венера приближается к Земле (астрономы говорят — находится в нижнем соединении с ней), она оказывается обращенной к ней одной и той же стороной. Как Луна к Земле! Вряд ли это простое совпадение, скорее тут проявляется вездесущая «рука» тяготения, вызываемое им приливное трение.

Поскольку следующая по очереди от Солнца за Венерой планета — наша Земля, то легко представить себе подобное же вмешательство приливного трения и в ее судьбу.

Так давайте-ка перенесемся на многие тысячелетия в будущее, когда, может быть, сутки станут действительно гораздо длиннее. Пусть для ровного счета их длительность возрастет в десять раз — сутки будут длиться тогда 240 часов. И это еще не так много, ведь пределом являются, как говорилось выше, сутки, равные 55 нынешним, то есть 1320 часам!

На биологическом ритме это изменение скажется в конце концов очень сильно. Если спать, например, по-прежнему раз в сутки и в течение примерно трети суток подряд, то сон должен длиться 80 часов! А затем последует «день» длительностью 160 часов.

Со временем такая длительность суток привела бы, может быть, к значительному замедлению биологического ритма, и все жизненные процессы, приспособляясь к новому ритму, стали бы более медленными, заторможенными.

Поневолe на память приходят герои научно-фантастического рассказа писателя И. Росоховатского «Встреча в пустыне». Разумные существа, живущие в крайне замедленном темпе времени, кажутся встретившим их путешественникам застывшими статуями, настолько растянуты по времени и просто незаметны для глаза их движения...

Однако биология биологией, а как физика? Несомненно, что и физические условия на такой медленно вращающейся Земле окажутся во многом иными.

В результате замедления суточного вращения ночью Земля будет остывать гораздо сильнее, а днем — разогреваться. Климат станет более континентальным. Из-за возросшей разности температур возникнут мощные движения воздушных масс, штормы и ураганы.

Но дело не только в этом. Известно, что суточное вращение непосредственно влияет на характер воздушных и морских течений, на погоду и климат главным образом из-за центробежной силы, возникающей при любом вращении. Естественно, что у оси вращения, то есть у полюсов, эта сила не

действует, и максимальной величины она достигает у экватора¹. Не так уж велика центробежная сила, а все же она сказывается на уровне Мирового океана — под ее действием он повышается, водная оболочка Земли перераспределяется. Это, в свою очередь, является первопричиной большинства морских течений. То же относится и к атмосферной оболочке Земли, и к господствующим в ней воздушным течениям. Не удивительно поэтому, что в моменты резкого изменения длительности суток, как было, например, во время солнечной вспышки в феврале 1956 года или в январе 1963 года, наблюдались и аномалии в погоде на земном шаре, связанные со значительными изменениями в глобальной циркуляции атмосферы.

Ученые считают, что достаточно измениться уровню Мирового океана у полюсов по сравнению с экватором всего на несколько миллиметров, чтобы характер существующих морских течений резко изменился. А такие изменения уровня океана вполне могут произойти в действительности в результате изменения скорости суточного вращения. Например, по подсчетам ленинградского океанолога Игоря Максимова, изменение уровня океана в том самом 1872 году, когда сутки были рекордно короткими, должно было достичь 8 мм. Этого вполне достаточно, чтобы изменилось направление известного тропического течения — Гольфстрима. Интересно, что Гольфстрим, от которого очень сильно зависит климат Европы, действительно по временам испытывает необъяснимые изменения, отклоняясь к берегам то Норвегии, то Гренландии. Игорь Максимов сопоставил имеющиеся астрономические данные о длительности суток за несколько столетий со сведениями о климате в Европе — суровости зим, дождливости лета и т. п. Вывод

¹ Как известно, центробежная сила, действующая на тело, равна его массе, умноженной на квадрат окружной скорости его вращения и деленной на расстояние до оси вращения. Так как скорость точки земной поверхности, лежащей на экваторе, в ее суточном вращении равна 465 м/сек, а радиус земного шара равен примерно 6400 км, то легко подсчитать, что вес тела на экваторе уменьшается в результате суточного вращения примерно на $\frac{1}{3}\%$ (точнее, на $\frac{1}{289}$ часть). Кроме центробежной силы, на величину веса влияет изменение другой инерционной силы, возникающей при вращении, — так называемой кориолисовой. Наконец, из-за сплюснутости земного шара его полярный радиус меньше экваториального, и, следовательно, притяжение тел на экваторе оказывается более слабым, чем на полюсах (далее до центра Земли!). По всем этим причинам вес на экваторе меньше, чем у полюса, примерно на полпроцента (точнее, на $\frac{1}{190}$ часть). Какой-нибудь вездеход, весящий у полюса несколько тонн, на экваторе был бы легче на 10—20 кг.

ученого вполне определен: существует прямая связь между скоростью суточного вращения Земли и климатом континентов.

Кстати сказать, изменение климата тесно связано и с другой «физической константой», характеризующей суточное вращение Земли, именно — с тем положением, которое занимает относительно земного шара невидимая ось этого вращения.

Мы все привыкли к тому, что положение земной оси строго постоянно, что оно может считаться своеобразной константой. Действительно, практически в течение жизни одного поколения земная ось и в самом деле почти не меняет своего положения, как не меняется и скорость вращения Земли вокруг этой оси. И все же некоторые ученые считают, что в далеком прошлом земная ось не раз круто изменяла свое положение относительно поверхности Земли с соответствующими климатическими катастрофами.

Не с подобными ли перемещениями связаны залежи каменного угля у Северного Полярного круга, где, как известно, нет тропической растительности?

Или находки черепа тигра в почве Новосибирских островов, останков верблюда на Аляске, недавние находки следов гигантского ледника, некогда покрывавшего Сахару, и останков ископаемых ящеров во льдах Антарктиды?

Или же северная сосна, сохранившаяся в Индии?

Подобных фактов своеобразной инверсии палеоклимата наука накопила уже достаточно.

Но как можно представить себе причину столь величественного космического катаклизма — «переворота» земной оси?

Конечно, никакие внутренние силы на самой Земле изменить положение оси в пространстве не в состоянии, как нельзя поднять самого себя за волосы.

Если и был когда-то «переворот» земной оси, то, быть может, как считают некоторые, от столкновения Земли с кометой или астероидом. Следы подобных столкновений ученые находят на земной поверхности. Более вероятно, что по какой-то причине земная кора сместилась относительно внутренних масс Земли, которым, разумеется, пришлось при этом сместиться в противоположном направлении, так что земная ось сохранила свое положение в пространстве, но изменила его относительно земной поверхности.

Впрочем, зачем эти догадки, если сам по себе факт «поворота» земной оси в бурной истории Земли вовсе не является твердо установленным? Зато бесспорно другое: и теперь зем-

ная ось не занимает строго фиксированного положения в пространстве, как и полагается оси всякого волчка, тем более космического.

Земная ось совершает довольно сложные движения: и быстрые, и помедленнее, и совсем медленные—«вековые», как говорят ученые. Так что полюсы непрерывно «путешествуют» по земной поверхности. В прошлом, во времена строительства египетских пирамид, место нынешней Северной Полярной звезды, которой является альфа Малой Медведицы, занимала на небосводе звезда альфа созвездия Дракона. В будущем же из-за перемещения земной оси Северной Полярной звездой станет Вега созвездия Лиры, и тогда вместо Северного полушария, как теперь, более теплым станет Южное. Через 26 000 лет цикл завершится: земная ось восстановит свое нынешнее положение — восстановится и климат.

Наряду с этими «вековыми» путешествиями полюсы совершают и короткие периодические сезонные прогулки, причем с тем же годовым периодом, что и изменение скорости суточного вращения Земли. Очевидно, эти сезонные перемещения связаны главным образом с метеорологическими факторами—движением воздушных масс, замерзанием воды на поверхности Земли и т. п. Так, вращение Земли обычно замедляется с октября по май и снова ускоряется в следующие полгода¹.

Наконец полюсы совершают и... ежесуточные «путешествия», правда скромные, в пределах метров, что связано, как впервые показал советский ученый М. С. Молоденский, с влиянием жидкого ядра Земли. Экспериментально перемещения полюсов в течение суток, так называемые нутации, были обнаружены астрономом Н. А. Поповым на Полтавской гравиметрической (то есть служащей для изучения силы тяжести) обсерватории.

Кстати, эти незначительные «покачивания» земного шара относительно оси своего вращения, вроде «болтанки» велосипедного колеса на оси, по логике вещей должны бы постепенно затухнуть, погаситься. Если этого не происходит, то, очевидно, есть какая-то сила, постоянно поддерживающая «покачивания». Некоторые ученые считают, что такой силой оказываются землетрясения. А если так, то они позволят судить о приближающемся сильном землетрясении за пять—десять

¹ По исследованиям пулковского астронома профессора Н. Н. Павлова, в конце марта сутки на одну тысячную долю секунды длиннее, чем в начале августа.

дней до его начала по внезапным изменениям траектории движения по земной поверхности... Северного полюса!

Тщательное наблюдение за «блужданием» полюсов необходимо не только поэтому. Ведь оно, это блуждание, изменяет точные значения географических координат всех точек земной поверхности. Вот почему еще в конце прошлого века была создана специальная всемирная организация, так называемая Международная служба широты, имеющая теперь шесть международных широтных станций для повседневного наблюдения за поведением полюсов.

Итак, длительность суток не остается постоянной, она меняется, хотя и очень незначительно. Но даже это приводит к климатическим изменениям. Что же произойдет, если, как в нашем мире иных констант, сутки возрастут в десять раз и будут длиться 240 часов?

Несомненно, перераспределение водных масс на земном шаре будет в этом случае неизмеримо больше. Океаны у полюсов как бы взбухнут, а у экватора опадут. Важнейшие океанские течения изменят свои вековые трассы, что вызовет сильнее перемены климата. Изменится береговой рельеф, исказятся знакомые очертания материков, иным станет уровень морей. В общем, мир «иных» суток внешне будет сильно отличаться от нынешнего.

Ну, а что случится, если сутки не удлинятся, а укоротятся в десять раз и их длительность будет равна всего 2,4 часа? Тут уж нам вряд ли поможет путешествие во времени, подобное тому, которое мы предприняли для того, чтобы оказаться на Земле с удлинненными сутками.

Вполне вероятно, что в далеком доисторическом прошлом суточное вращение Земли было более ускоренным, если судить по характеру его вековых изменений. Это можно считать доказанным наукой. Так, по дошедшим до нас данным о солнечных и лунных затмениях, что были несколько тысяч лет назад, удалось установить: они наблюдались древними греческими или китайскими астрономами на несколько часов раньше, чем следовало бы, если бы скорость суточного вращения Земли не уменьшалась. Тогда сутки были короче.

А недавно новое, несколько неожиданное подтверждение того же факта получено по данным палеонтологии — науки, занимающейся изучением ископаемых животных и растений.

Американский ученый, профессор Д. Уэллс, в 1963 году установил, что на поверхности кораллов образуются особые черточки, каждая из которых является отметкой прожитых ко-

раллом суток, причем эти отметки накладываются на годовичные волны (такие волны столь же характерны для кораллов, как годовичные кольца для деревьев). На кораллах, живущих сейчас, каждой годовичной волне соответствует примерно 360 черточек, то есть столько, сколько дней в году. Но вот на ископаемых кораллах девонского периода, живших примерно 400 миллионов лет назад, черточек оказалось по 400 в году. И именно столько «укороченных» суток должен был содержать один год, если принять, как считают ученые, что скорость суточного вращения уменьшается постоянно на две секунды за каждые сто тысяч лет.

Однако все же до столь коротких суток — длительностью всего в 2,4 часа — дело, вероятно, не доходило. Поэтому придется нам заменить воображаемое путешествие по времени еще более фантастическим, например, перенестись на неведомую планету в неизвестной галактике, причем планету, во всем схожую с Землей, но только с очень короткими сутками. Если хотите, конечно, оставайтесь на Земле, но тогда уж примиритесь с тем, что сутки длятся всего 2,4 часа.

Биологический ритм жизни на такой планете, стремительно вращающейся вокруг оси, был бы крайне «неуютным». Судите сами: спать бы там пришлось трое суток подряд, а потом шесть суток длилось бы бдение. Представить же себе иной, ускоренный биологический ритм, соответствующий длительности таких суток, вряд ли можно. Ведь тогда пришлось бы вскакивать с постели, едва успев заснуть, — сон длился бы менее часа, на обед отводилось бы 5—6 минут, а для поездок на работу просто не хватало бы суток. Такой стремительный жизненный бег, конечно, нереален. Тут скорее пригодился бы опыт наших космонавтов, стоявших «выше» этой учащенной смены дня и ночи.

Мы уже знаем, что изменение скорости суточного вращения Земли вызывает не только биологические, но и серьезные физические последствия. В случае укорочения суток, как и раньше, перераспределятся водные массы на земном шаре, снова изменятся океанские течения, береговой рельеф, уровень морей, климат континентов. Но теперь уже изменения будут иными, как бы противоположными по характеру. Там, где замедление суток вызывало повышение уровня океана, теперь океан отступит, вспучивание вод заменится их спадом. Что произойдет с важнейшими океанскими течениями, сразу сказать трудно, хотя ясно, что их изменение будет качественно другим.

Одно совершенно очевидно: все физические изменения ко-

ротких суток будут гораздо более сильными, чем при таком же относительном (в нашем случае — в десять раз) удлинении суток. Объясняется это тем, что центробежная сила, являющаяся главной причиной всех таких изменений, зависит, как мы знаем, от квадрата скорости суточного вращения.

Но, пожалуй, самое существенное в другом. Мало того, что более сильное изменение центробежной силы вызывает и более резкие изменения в окружающем нас мире. Оказывается, количественные изменения приводят к новому качеству, и качеству очень важному.

Помните, мы говорили о том, что под действием суточного вращения вес на Земле уменьшается, причем на экваторе уменьшение составляет примерно $1/3\%$? Кажется, немного, а все же стартовые позиции для запуска космических ракет стремятся, если возможно, располагать поближе к экватору — это приводит к экономии в затрате топлива на полет.

Когда сутки удлиняются в десять раз, то уменьшение веса становится еще менее значительным (оно снизится, как мы знаем, в сто раз, и теперь уже вес будет меньше не на $1/3\%$, а всего на $1/300\%$).

Но совсем иначе будет обстоять дело при сокращении суток вдесятеро. Ведь центробежная сила возрастет в сто раз и, значит, во столько же раз увеличится разница в весе. Она составит теперь уже не треть процента, а треть всего веса!

Значит, на экваторе человек, весящий 60 кг, станет теперь весить всего 40 кг. Катастрофическое похудание! Взрослый как бы станет снова школьником, по крайней мере по весу...

Уменьшенный вес скажется не только на живой природе. Здания и машины тоже «почувствуют» большое «облегчение», они станут более легкими, ажурными, менее массивными. Расход металла и других конструкционных материалов значительно сократится. Трение колес о железнодорожные рельсы или автомобильных шин об асфальт уменьшится, что приведет к уменьшению расхода топлива на поездку. Из-за уменьшения трения возрастет эффективность работы большинства машин.

Намного облегчится запуск космических ракет. Ведь из 11—15 км/сек космической скорости, которая должна быть сообщена при запуске ракете, примерно одна треть будет получена «бесплатно», за счет скорости Земли в ее суточном вращении. Это сильно расширит возможности космонавтики и сделает доступным почти любой космический полет в пределах Солнечной системы уже при достигнутом уровне развития космической техники.

А как будет обстоять дело с авиацией? На первый взгляд может показаться, что на полете самолета длительность суток никак не должна сказаться: ведь полетный вес самолета от суточного вращения Земли как будто не зависит. Разве вот только то, что теперь уже не нужно будет лететь со сверхзвуковой скоростью, чтобы Солнце восходило на западе...

Но в действительности, как легко видеть, для самолета, летящего с запада на восток, собственная скорость полета будет складываться со скоростью суточного вращения Земли. В результате вблизи экватора вес реактивного лайнера уменьшится больше чем на треть по сравнению с его же весом у полюса. Следовательно, на самолете может находиться в таком полете и на треть больший полезный груз — ведь крылья-то создают прежнюю подъемную силу.

Ну разве не удивительна, в самом деле, совершенно неожиданная связь между длительностью суток и... полезным грузом самолета? Или коэффициентом полезного действия какой-нибудь машины? Или, наконец, рекордным прыжком в высоту?

Но мы еще не все рассказали о тайнах суток. Вот, например, еще одна неожиданность. Помните, для того чтобы сократить сутки в десять раз, нам пришлось «раскрутить» земной шар: скорость точек, лежащих на его экваторе, достигла $4,65 \text{ км/сек}$. Ведь это уже почти космическая скорость!

На самом деле известно, что первая космическая скорость равна примерно 8 км/сек — все тела, приобретшие такую скорость, могут стать спутниками Земли.

Интересно, между прочим, что для достижения столь большой экваториальной скорости даже не нужно путешествие в фантастический мир. Оказывается, в Солнечной системе существует планета, экваториальная скорость которой даже больше, чем на гипотетической Земле с уменьшенной вдесятеро длительностью суток, — ею является гигант Юпитер. Сутки на Юпитере длятся всего 9 часов 50 минут (точнее, за это время совершают один полный оборот вокруг оси Юпитера точки, лежащие в его экваториальной области; в средних широтах «сутки» немного длиннее — они длятся около десяти часов)¹.

¹ Кстати сказать, астрономы США установили, что в 1961 году длительность суточного обращения Юпитера внезапно уменьшилась на $1,3 \text{ сек}$. Это резкое изменение было установлено и по источникам радионизлучения на Юпитере, и по знаменитому Красному пятну в его атмосфере. Причины такого изменения остаются пока загадкой. Как видно, не одна Земля отличается непостоянством «характера».

Этот гигантский «волчок» вращается вокруг оси примерно в два с половиной раза быстрее, чем земной шар. Диаметр Юпитера превышает 142 тысячи километров, и легко подсчитать, что окружная скорость точек, лежащих на экваторе Юпитера, равна 12,5 км/сек. Но так как сила тяжести на массивном Юпитере, масса которого больше земной примерно в 318 раз, тоже больше земной (в 2,6 раза), то и первая космическая скорость на Юпитере больше — она равна уже не 8, а примерно 43 км/сек.

Впрочем, экваториальная скорость Юпитера вовсе не является рекордной. У звезд, в частности, так называемых «белых гигантов», она оказывается иногда гораздо большей. Советский астроном академик Г. А. Шайн установил, что у некоторых из этих звезд скорость точек на экваторе достигает 300 км/сек.

Но, может быть, все рекорды в этом отношении побивают пульсары — необыкновенные небесные тела, открытие которых в 1967 году стало поистине сенсацией.

Подробнее о пульсарах будет рассказано позже, в главе 7-й. А сейчас отметим лишь, что если верна гипотеза о том, что пульсар представляет собой так называемую нейтронную звезду (о них также будет идти речь в главе 7-й) диаметром всего 10—20 км и вращающуюся со скоростью в десятки оборотов в секунду (вот это космический волчок!), то окружная скорость звезды может равняться тысячам километров в секунду! Любое другое небесное тело подобного быстрого вращения не выдержало бы и разлетелось на куски...

В свое время, еще до гениальных открытий К. Э. Циолковского, сделавших ракету фундаментом космонавтики, в числе разных других способов разгона до нужной космической скорости рассматривалась и центрифуга — своеобразная гигантская прача, из которой должен был «выстреливаться» космический корабль.

Не правда ли, наша раскрученная Земля стала чем-то вроде такой прачи? Хотя пока еще скорость ее вращения все же недостаточна для осуществления космических пусков, но, пожалуй, можно еще сократить длительность суток (кто нас ограничил уменьшением в десять раз? Нам все можно!), и тогда отпадет необходимость в ракетах.

При какой же длительности суток скорость точек экватора станет равной первой космической? Это действительно интересно, да, в общем, и нетрудно установить. Поскольку первая космическая скорость равна у поверхности Земли примерно

7,9 км/сек, то ей соответствует, оказывается, длительность суток меньше истинной в семнадцать раз¹.

Значит, если бы сутки сократились не в десять, как в нашем случае, а в семнадцать раз, то есть их длительность достигла бы 1 часа 24 минут и 36 секунд², то все тела, находящиеся на экваторе, стали бы невесомыми. Они превратились бы, по существу, в искусственные спутники Земли.

Наверное, все помнят уникальные кадры советского космического кино: находящиеся в корабле космонавты демонстрировали миллионам зрителей «фокусы» невесомости, Алексей Леонов «разгуливал» по космосу в самых неожиданных положениях.

Когда сутки сократятся до 1 часа 24 минут, то для подобных «фокусов» не надо будет забираться в космос: карандаш, выпущенный из рук на экваторе, уже не упадет — он будет плавать в воздухе, как это не раз бывало в кабине космических кораблей. И точно так же можно будет висеть в небе вверх ногами подобно Леонову и другим космонавтам. Одним словом, космос на Земле!

Но если эта самая невесомость, столь необычная и даже забавная, связана в то же время с немалыми неприятностями в космосе, в особенности в случае длительного межпланетного полета, то на Земле она оказалась бы, пожалуй, во сто крат неприятнее. Обычная жизнь в экваториальных районах была бы, по существу, невозможной; при еще большей скорости суточного вращения она стала бы невозможной и в других районах, дальше отстоящих от экватора.

Судите сами. Приятно, конечно, не чувствовать своего веса, превратиться в силача, способного поднять одной рукой любой груз (хоть целый троллейбус с пассажирами) или легко пере-

¹ Вот простой расчет. Нужная скорость 7,9 км/сек больше истинной экваториальной скорости (которая равна, как уже отмечалось выше, 465 м/сек) в $\frac{7900}{465} \approx 17$ раз. Эту же величину можно было бы найти и из формулы для окружной скорости. Как известно, длина окружности земного экватора равна 40 000 км. Следовательно, чтобы скорость точек на экваторе равнялась 7,9 км/сек, земной шар должен совершать один оборот за $\frac{40\,000}{7,9} \approx 5060$ сек, или всего за нынешние сутки (то есть 24 часа) $\frac{24 \times 3600}{5060} \approx 17$ оборотов.

² Ибо $\frac{24}{17} \approx 1,41$ час, или 1 час 24 мин 36 сек.

прыгивать через многоэтажный дом. Но приятно ли при прыжке взмыть в воздух, оказаться над крышей дома и... беспомощно повиснуть там, не имея возможности спуститься наземь? А ведь именно так и обстояло бы дело.

От самого слабого случайного толчка мы взлетали бы в воздух, навсегда расставшись с земной твердью, ибо какая другая сила вместо исчезнувшего веса возвратила бы нас обратно?

Космонавты, рискующие прогуливаться в космосе вне корабля, должны в обязательном порядке, как это сделал Леонов, привязываться к кораблю предохранительным тросом — фалом, чтобы не потеряться навсегда в бесконечных просторах мирового пространства.

Но не привязываться же, в самом деле, к фонарным столбам при хождении на земле!

Правда, у космонавтов есть и другой способ предохранения: они могут снабжаться специальными легкими реактивными двигателями, чтобы использовать их для возврата на корабль при случайном отрыве от него. Ну что ж, такие же двигатели могут помочь и нам на нашей стремительно вращающейся Земле.

Но вряд ли все это очень удобно.

Что же говорить о собаках и других бессловесных земных обитателях? Научить их пользоваться реактивными двигателями было бы, вероятно, совсем не легким делом...

Любой незаметный толчок или порыв ветра мог бы поднять в воздух мотоциклы и автомобили, троллейбусы и автобусы, не говоря уж о велосипедах. В общем, практически все, что передвигается по земной поверхности, переместилось бы в воздух. Возвратиться обратно на Землю совсем не просто (где найдешь опору?), и небо кишело бы своими пленниками, барахтающимися в воздухе в самых неожиданных и странных положениях.

Впрочем, и на самой Земле радости было бы мало — ведь при отсутствии веса нет и трения, а без него невозможно любое нормальное передвижение. Земля превратилась бы в сверхидеальный каток. Нет, гораздо хуже, ибо на катке-то хоть на коньках кататься можно...

Но не только это. Как известно, в условиях невесомости все жидкости начинают вести себя совсем не так, как обычно. Налить, например, полстакана или стакан воды не удастся — вода мгновенно соберется в шар или расплзется по стенкам стакана: при отсутствии веса на жидкость действуют лишь си-

лы межмолекулярного сцепления, или силы поверхностного натяжения.

Что же произойдет с водой в многочисленных бассейнах, прудах, озерах и реках в экваториальной зоне Земли, когда сутки станут такими короткими? Что случится с просторами морей и океанов?

Ничего хорошего. Водяные шары и шарики разных размеров будут уноситься в небо и двигаться в нем в различных направлениях. Очень скоро водные бассейны осушатся, а на место воды, переселившейся в небо, начнет поступать вода из сообщающихся с ними других бассейнов, расположенных в более высоких широтах. Постепенно вся влага на земном шаре будет «выдута» через экваториальную зону в воздух. Моря и океаны превратятся в болотистые или песчаные низменности. Над ними вместо голубого неба будут клубиться несчетные множества водяных шаров — всюду вода... Дышать воздухом, пропитанным капельками воды, будет невозможно. Жизнь на Земле, к поверхности которой перестанут проникать живительные лучи Солнца, будет обречена, вероятно, на угасание.

Впрочем, жизнь на Земле окажется невозможной не только поэтому, но и по многим другим, не менее важным причинам. Чего стоит, например, одно то, что из-за невесомости люди, животные, растения, очевидно, не смогут нормально дышать, будут задыхаться в собственных ядовитых испарениях. Или то, что, вероятно, не удастся разжечь ни один костер, ни одну топку.

Само собой разумеется, что если скорость суточного вращения земного шара еще чуть-чуть возрастет, то он начнет действовать как гигантская праща, разбрасывая во все стороны все тела со своей поверхности. Земля обзаведется бесчисленным роем искусственных спутников всех размеров и форм, движущихся по разнообразным орбитам в плоскостях, близких к экваториальной, — ведь именно на этих широтах находились на Земле все эти предметы и тела, будущие спутники. И, что хуже всего, роковая участь не минует и земной атмосферы: скорость значительной части молекул воздуха в экваториальной зоне достигнет второй космической, и Земля будет быстро терять свою воздушную оболочку.

Конечно, в действительности все эти мрачные перспективы Земле не грозят. В природе не существует никаких причин для столь сильного сокращения суток, оно просто невозможно. Конечно, можно предположить, что каким-нибудь фантастическим способом скорость суточного вращения Земли может

быть увеличена настолько, что сутки сократятся в 17 раз¹. Но, оказывается, такое быстрое вращение вызовет в недрах Земли огромные напряжения, которые в конце концов разорвут земной шар на части, раздробят его на куски. Не так ли погиб гипотетический Фаэтон — исчезнувшая десятая планета Солнечной системы? Ведь ученые считают, что даже существующие очень незначительные колебания скорости суточного вращения Земли могут являться одной из важнейших причин, вызывающих такие грандиозные катаклизмы, как землетрясения или вулканические извержения.

Нет уж, пусть лучше сохраняются наши привычные сутки. Как хорошо, в конце концов, что длительность суток есть константа!.. Кажется, теперь мы в этом убедились.

Нетрудно было бы убедиться и в том, что лучше уж не менять и других «незаметных», но привычных констант, так или иначе связанных с земным шаром. Что, если бы, например, диаметр земного шара, который тоже, конечно, является одной из подобных констант, изменился в десять раз? Или Земля вместо шара (ведь и это своеобразная константа!) стала кубом? Или...

Но, пожалуй, не стоит продолжать, ведь нас ждут и другие константы. Ясно лишь, что жизнь на любой «модифицированной» подобным образом Земле оказалась бы куда менее приятной, а то и вовсе невозможной.

¹ Вообще-то говоря, принципиальную возможность подобной «раскрутки» земного шара дают... ракеты. При соблюдении ряда специальных условий задача оказывается им под силу. Но даже эта единственная теоретическая возможность практически неосуществима. Да и к чему?





ОРБИТАЛЬНАЯ КАРУСЕЛЬ

ГОД «ДРАКОНИЧЕСКИЙ» ■ В ВУЗ —
В ДВУХЛЕТНЕМ ВОЗРАСТЕ ■ ЗЕМНАЯ
ОРБИТА СМЕСТИЛАСЬ ■ НОВАЯ ЛУ-
НА ОВАЛЬНОЙ ФОРМЫ ■ ОБЛЕДЕ-
НЕВШАЯ ЗЕМЛЯ ■ ПЕРВОКЛАССНИ-
КИ НА ВОСЬМОМ ДЕСЯТКЕ ■
В ОГНЕННЫХ ОБЪЯТИЯХ СОЛНЦА ■
СУТКИ, РАВНЫЕ ГОДУ, И ГОД, РАВНЫЙ
ПОЛУТОРА ЧАСАМ ■ СУЩЕСТВУЮТ
ЛИ ГРАВИТАЦИОННЫЕ ВОЛНЫ!

С Новым годом, с новым счастьем!

Всюду на земном шаре приветствуют друг друга люди, встречая рождение нового года. Не во все времена, не во всех странах и не все народы праздновали встречу Нового года так, как мы празднуем теперь, то есть 1 января.

У нас в стране впервые начало нового года отмечалось 1 января в 1700 году. Это произошло по указу Петра I, а до того новый год начинался 1 сентября.

В науке издавна применяются разные понятия года, отличающиеся своей длительностью: например, звездный год, календарный год, тропический год, лунный год и даже... драконический год, впрочем, страшный только по своему названию. В основе этих понятий лежат различные по характеру астрономические явления. Но по длительности все «годы» весьма близки между собой: все они так или иначе связаны с одним и тем же фундаментальным астрономическим явлением.

Однако, что самое существенное, длительность каждого года всегда остается одной и той же, неизменной. Если, например, это звездный год, то его длительность равна 365, 2564 суток, а если тропический, то 365, 2422 суток. И хотя наш обычный календарный год раз в четыре года удлиняется на сутки, то только потому, что он равен в действительности 365, 2425 суток, а по календарю, как известно, в году ровно 365 суток. Из-за лишних десятых и сотых долей суток и набегает за четыре года одни лишние сутки.

Но если год обладает таким замечательным постоянством, то и его длительность может считаться столь же закономерной физической константой, как уже знакомые нам сутки. Не удивительно, что длительность года с полным правом используется для отсчета астрономического времени. Год является не только ничем не худшей единицей времени, чем сутки или час, но, как сочли астрономы, даже лучшей¹.

¹ Действительно, если раньше, начиная с 1725 года, единица времени — секунда — определялась как $\frac{1}{86\,400}$ доля суток, то до самого последнего времени такой единицей было принято считать определенную долю определенного года, именно одну 31 556 925,9747 часть 1900 года. Только в октябре 1964 года на Парижской конференции эта стандартная единица времени была заменена другой, уже не астрономической, а физической. Теперь секунда — длительность определенного числа колебаний электронной оболочки атома металла цезия, служащего своеобразным «маятником» атомных часов, именно 9 192 631 770 таких колебаний. Для сравнения можно указать, что баланс обычных наручных часов совершает всего 5 колебаний в секунду.

Что же случится, если эта константа изменится по величине?

Будет ли подобное изменение столь же грозным по своим последствиям, как и изменение суток?

Допустим сначала, что продолжительность года на Земле увеличилась в десять раз, то есть год стал длинным-предлинным. Значит, первоклассник пойдет в школу, когда ему еще не исполнится и года, а закончит ее в возрасте менее двух лет! Даже глубокому старику будет меньше десяти лет...

Ну, к этому еще, пожалуй, можно привыкнуть — дело, в конце концов, условное. В году будет не 12, а 120 месяцев, и их придется, вероятно, именовать июль — седьмой (помните чеховского «Иванова — седьмого?»), то есть седьмой по счету июль текущего года, или январь — десятый, а то ведь все перепутаешь.

Но удлинение года оказывается гораздо более неприятным, когда вдумаешься в то, что же представляет собой, в конце концов, год¹.

Как известно, смена времен года связана с обращением Земли по орбите вокруг Солнца. Протяженность этого пути равна примерно 940 миллионам километров, и Земля мчится по своей невидимой «беговой дорожке» со скоростью около 30 км/сек.

Что же произойдет с астрономическим бегом Земли, если год удлинится в десять раз?

Может быть, просто скорость движения Земли по орбите уменьшится с 30 до 3 км/сек, и только? Тогда жители Земли этого просто не заметят. Ведь сейчас мы даже не догадываемся о том, что мчимся вместе с земным шаром с огромной скоростью — более 100 000 км/час. Ну, будет 10 000 км/час, только и всего?²

¹ Год равен 365 суткам 5 часам 48 минутам 46 секундам.

² Мы опускаем здесь вопрос о том, за какое время, то есть как быстро произойдет это изменение скорости. Ведь если скорость изменится мгновенно, скачком, то все, что находится на земной поверхности, будет сдвинуто с нее, как бы выстрелено из артиллерийского орудия со скоростью 30—3=27 км/сек. Этой скорости вполне достаточно для того, чтобы все мы отправились в далекое космическое путешествие. То же самое, конечно, будет и при резком изменении скорости суточного вращения Земли (помните уэллсовского «Человека, который мог творить чудеса?»), только там скорость несколько поменьше, и поэтому в космос-то мы не отправимся, а совершим полет, как снаряд из дальнобойного артиллерийского орудия. Слабое утешение!.. Впрочем, и сам земной шар вряд ли выдержит такой удар — он разрушится.

Нет, так не получится. Этому мешают законы небесной механики, управляющие движением небесных тел. Земля не может двигаться по своей орбите вокруг Солнца с любой скоростью. Существующей в настоящее время орбите соответствует только одна-единственная возможная скорость, именно нынешняя орбитальная скорость, равная 30 км/сек . Это не то, что шоссе или железная дорога, где возможно движение с самыми разными скоростями. В космосе так не получается: стоит чуть-чуть изменить скорости, как старые «рельсы» уже окажутся непригодными, понадобятся новые. Там каждой трассе — своя скорость.

Куда же переместится орбита Земли, если орбитальная скорость уменьшится в десять раз?

Где пройдет новая трасса движения земного шара?

Вспомните, как движутся искусственные спутники Земли. С тех пор как в исторический день 4 октября 1957 года в небо взлетел первый советский искусственный спутник, запуск спутников стал обычным явлением. Теперь уже в космосе побывало много сотен различных спутников, да и немало их движется по разным орбитам. Каждый школьник в нашу космическую эпоху теперь рассуждает о перигее и апогее орбит спутников, о периоде их обращения и других астрономических тонкостях. Все знают теперь, что ничтожное, но все же существующее сопротивление разреженного воздуха на огромных высотах приводит к постепенному снижению спутника.

По мере того как уменьшается высота перигея и главным образом высота апогея орбиты спутника, период его обращения вокруг Земли также уменьшается. Если не принять специальных мер тепловой защиты спутника, то его ждет неизбежная гибель в вихрях раскаленного воздуха, ждет участь падающей звезды — метеора. И чем ближе к Земле, тем больше скорость спутника — ведь скорость любого падающего на Землю тела возрастает. (Кстати, не парадокс ли — чем сильнее тормозит воздух, тем быстрее движется спутник? Но именно таковы особенности действия земного тяготения.) Все меньше и меньше времени затрачивает спутник на один оборот вокруг Земли.

Все это с полным правом относится и к планетам, обращающимся вокруг Солнца. Ближайшая к нашему светилу планета оказывается и самой «торопливой». Не удивительно, что она названа Меркурием — в честь мифического быстрого посланника богов. Меркурий обегает вокруг Солнца за 88 дней. Венера уже более медлительна, ибо отстоит от Солнца при-

мерно вдвое дальше¹ — ее период обращения равен 225 дням. Видите, как получается: расстояние увеличилось меньше чем вдвое, а период обращения — больше чем в 2,5 раза. Значит, период обращения возрастает быстрее расстояния.

Действительно, для Земли период обращения равен 365 дням при расстоянии от Солнца примерно 150 миллионов километров: расстояние по сравнению с Венерой возросло на 40%, а период обращения — на 60% с лишним. А вот как обстоит дело с самым далеким спутником Солнца — Плутоном: расстояние до него равно примерно 5,9 миллиарда километров, а период обращения составляет около 248 лет; по сравнению с Землей расстояние больше примерно в 40 раз, а период обращения в 248 раз.

Таков закон небесной механики².

Итак, год на Меркурии меньше земного примерно в четыре раза, а на Плутоме — больше земного в 248 раз. Где же пройдет орбита Земли, если земной год в нашем необыкновенном мире удлинится в десять раз?

Это легко вычислить. Земля будет примерно в 4,6 раза дальше от Солнца, чем теперь³. Марс хоть и останется нашим соседом, но будет уже не дальше, а ближе нас к Солнцу. Другим соседом, дальним от Солнца, окажется Юпитер. Земля займет место между Марсом и Юпитером, то есть то самое место, которое, как предполагают многие ученые, когда-то занимала гипотетическая разрушившаяся планета Фазтон.

При противостоянии, когда расстояние от «перемещенной» Земли до Юпитера окажется минимальным, оно будет равно 90 миллионам километров. Это примерно вдвое дальше, чем до находящейся в противостоянии Венеры. Но Юпитер — гигант среди планет Солнечной системы: по диаметру он в 11,5 раза больше Венеры. Поэтому Юпитер ослепительно засияет на небосводе, даже ярче, чем, например, в конце февраля 1964 года, когда обе планеты — Венера и Юпитер — почти

¹ Среднее расстояние Меркурия от Солнца равно 58 миллионам километров, а Венеры — 108 миллионам километров.

² В соответствии с этим законом, носящим название третьего закона Кеплера, период обращения T пропорционален корню квадратному из куба расстояния до Солнца R , то есть $T \propto \sqrt{R^3}$, или $T^2 \propto R^3$.

³ Действительно, поскольку $\left(\frac{T}{T_0}\right)^2 = \left(\frac{R}{R_0}\right)^3$, то $\left(\frac{R}{R_0}\right)^3 = 10^2 = 100$ и $\frac{R}{R_0} = \sqrt[3]{100} = 4,6$.

вплотную приблизились друг к другу в вечернем зимнем небе над Москвой и сверкали яркими звездами¹. Юпитер уже не будет более выглядеть звездой, пусть и необычно яркой. Он превратится во вторую, небольшую, Луну, ибо видимый диаметр диска Юпитера будет всего примерно в шесть раз меньше лунного². Даже невооруженным глазом можно будет наблюдать характерные полосы, соединительные мостики и другие особенности Юпитера, видеть, как проходит по сильно сплюсненному Юпитеру его знаменитое Красное пятно, таящее столько загадочного для астрономов. (Что это — гигантский замороженный вихрь диаметром 50 тысяч километров? Или след колоссального вулканического извержения?)

Можно не сомневаться, что маленькая ослепительная овальная Луна, то появляющаяся и растущая в размерах, то уменьшающаяся и надолго исчезающая, будет необычайным украшением неба. Но как ни красив Юпитер в этой своей новой и необычной роли, вряд ли кому-нибудь удастся любоваться им. Вероятнее всего, жизнь на Земле, перенесенной в непосредственное соседство с Юпитером, окажется не только крайне неуютной, но и просто невозможной.

Если Юпитер так сильно вырастет в размерах на небе, то не менее сильно изменятся, но только в другую сторону, и размеры Солнца. А это куда важнее. Солнце будет на небосводе в виде небольшого диска, лишь чуть большего по размерам, чем Юпитер³. Но дело, конечно, не в размерах Солнца, а в тепле, которое оно шлет на Землю. А это тепло уменьшится более чем в двадцать раз!⁴ Из-за этого климат на Земле станет очень суровым.

Действительно, как показали исследования, на Юпитере, который получает в двадцать семь раз меньше солнечного тепла, чем Земля, средняя температура равна минус 138°. Значит, на Земле с удлинением в десять раз годом средняя темпера-

¹ Астрономы называют такое сближение планет соединением.

² Действительно, отношение диаметров Юпитера и Луны равно $\frac{142\,100}{3\,475} \approx 41$, а отношение расстояний до них $\frac{90\,000\,000}{384\,000} \approx 234$, вследствие чего отношение диаметров видимых дисков $\frac{234}{41} \approx 6$.

³ Очевидно, видимый диаметр солнечного диска (точнее, угол зрения, под которым он виден) уменьшится так же, как увеличится расстояние до Солнца, то есть в 4,6 раза.

⁴ Количество солнечного тепла изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния. В данном случае оно уменьшится в $4,6^2 \approx 21$ раз.

тура будет равна примерно минус 120°! Само собой разумеется, что жизнь в этих условиях будет вряд ли возможна: обычные земные организмы не в состоянии перенести такой сверхмороз. А ведь это средняя температура! Во многих районах Земли зимой мороз будет еще гораздо крепче, может быть, до 200°.

Оказывается, невинное на первый взгляд удлинение года сделает жизнь на Земле невозможной. Какой неуютной и мрачной станет Земля с таким длинным годом! Всюду лед и снег, нигде ни капли воды, застыли реки, озера, океаны, промерзшие до дна. Все вокруг вымерзло и погибло — ни травинки, ни деревца. И над этим ледяным безмолвием на абсолютно чистом небе (облаков-то не будет: они выпадут в виде снега и града) среди почти немигающих звезд будет холодно и ослепительно сиять луноподобный Юпитер...

Удлиненный год плох. А укороченный? Что случится, если мы уменьшим длительность года в десять раз?

Сразу ясно, что год длительностью в 36,5 дня многое перепутает в привычном укладе нашей жизни. Придется, вероятно, вообще распрощаться с месяцами в календаре. Да и что толку от месяца, если он чуть меньше года? Хорошо, конечно, когда каждый год состоит всегда из 12 месяцев, но если начало месяца приходится на один год, а конец — на другой, то к какому году его прикажете отнести?

Нет, лучше не путаться с месяцами, благо теперь в них нет нужды.

Ну, это еще, может быть, полбеда, как и то, что у нас был бы нынче уже не XX, а СС (двухсотый) век. Дело привычки, как отсчитывать время. Привыкли бы мы и к тому, что первый раз в первый класс отправлялись бы на восьмом десятке лет, а заканчивали школу вообще в почтенном возрасте — лет под двести. Разобрались бы как-нибудь и с тем, сколько лет должно пройти от экзаменов до экзаменов, и с тем, сколько лет должны длиться каникулы.

Похуже обстояло бы дело с временами года. Что за лето, на самом деле, если оно длится... девять дней? Правда, зато осень и зима будут тоже такими же короткими, но это вряд ли будет достаточным утешением. Единственная надежда, что при стремительной смене времен года они различаться будут, вероятно, далеко не так сильно, как теперь. Но, в общем, мешанина из времен года не доставит, наверное, никому удовольствия. Реки не успеют замерзнуть, снег не успеет по-настоящему выпасть...

Однако самое главное, конечно, в другом. Ведь мы уже знаем, что если изменится длительность года, то переместится и земная орбита. Когда год удлинился в десять раз, то Земля стала близким соседом Юпитера. Теперь же, очевидно, земная орбита сместится по направлению к Солнцу. Может быть, место Юпитера в качестве ближайшего соседа Земли теперь займет Меркурий?

Зная, как связаны между собой период обращения планеты и ее расстояние до Солнца, легко найти новое положение земной орбиты. Если год длится всего 36,5 дня, то орбита Земли должна находиться от Солнца на расстоянии, равном примерно 32 миллионам километров¹.

Вот, оказывается, как! Ближайшая к Солнцу планета — Меркурий — отстоит от него на расстоянии 58 миллионов километров, почти вдвое дальше. Значит, Земля окажется на пути между Меркурием и Солнцем, в непосредственном соседстве с нашим дневным светилом. Уж что-то, а недостатка в солнечном тепле теперь наверняка не будет.

Да какой там недостаток! Земля будет получать почти вчетверо больше тепла, чем Меркурий (точнее, в 3,3 раза). А ведь известно, что на освещенной Солнцем стороне Меркурия температура достигает 350—400°: там царит поистине адская жара. Значит, на Земле температура будет еще значительно выше — она может превысить 1000°!

Земля превратится в огнедышащую пустыню: льды растают, океаны, моря, реки испарятся. Если и можно будет найти на земной поверхности какие-нибудь бассейны с жидкостью, то это будет уже не вода. Сейчас на Земле есть только одно подобное уникальное озеро — вместо воды оно заполнено расплавленным асфальтом; это очень глубокое озеро находится на острове Тринидад в Карибском море. На перемещенной раскаленной Земле будут, вероятно, озера расплавленного цинка, алюминия и даже серебра.

Правда, жара будет не всюду на земной поверхности. На полюсах будет, конечно, холоднее, чем у экватора. Но главное даже не это. Оказавшись в столь опасной близости к Солнцу,

¹ Поскольку $\left(\frac{T}{T_0}\right)^2 = \left(\frac{R}{R_0}\right)^3$, а период обращения T уменьшен в 10 раз, то $\left(\frac{R}{R_0}\right)^3 = 0,1^2 = 0,01$ и $\frac{R}{R_0} = \sqrt[3]{0,01} \approx 0,215$, то есть новое расстояние от Земли до Солнца составит всего 0,215 от прежнего, или $0,215 \cdot 150\,000\,000 \approx 32$ миллионам километров.

Земля гораздо сильнее почувствует могучую силу притяжения к нему. Если бы на земной поверхности сохранились океаны, то можно было бы наблюдать морские приливы невиданной силы; но, увы, океаны и моря, как мы уже знаем, испарятся. Однако подобные же «приливы» в самой земной тверди неизбежно затормозят суточное вращение Земли, и очень скоро на Земле сутки станут равными году. Значит, сократить год в десять раз, как это мы собираемся сделать, означает одновременно удлинить сутки в 36 раз. Еще неожиданный результат!

Подобно тому как Луна постоянно обращена к Земле одной и той же стороной, никем не виданной до исторических фотографий «Лунника-3» в 1959 году, так и Земля навсегда обратится в этом случае одной стороной к Солнцу. Там будет невыносимая жара. А на противоположной стороне воцарится не менее жестокий мороз: будут замерзать не только пары воды, но и углекислота. А может быть, и воздух тоже сконденсируется и превратится в жидкость? Тогда вся атмосфера очень быстро перетечет с горячей стороны Земли на холодную, теневую, чтобы превратиться в моря жидкого воздуха.

Но вероятнее другое. Атмосфера несколько выровняет температуру: разница температур на горячей и холодной сторонах Земли не будет, конечно, такой большой, как на Меркурии, где атмосферы нет. Где-то в переходных областях температура будет и вообще приемлемой для жизни. Может быть, там и будет концентрироваться земная жизнь?

Однако реально ли такое сильное уменьшение длительности года? Ведь самый короткий год в Солнечной системе — на Меркурии, и он равен 88 суткам. А тут — 36. Можно ли?

В природе известны примеры, когда год длится еще гораздо меньше. Наука пока не сумела увидеть планеты чужих солнц, хотя их существование установлено почти с несомненной достоверностью. Установлен и период их годичного обращения. Но рекордный по краткости год зафиксирован не для планеты, а для... звезды. Астрономы недавно обнаружили новую двойную звезду в созвездии Стрельца. Одна из звезд, составляющих эту двойную, совершает полный оборот вокруг другой (точнее, вокруг общего центра массы) всего за... 81,5 минуты, двигаясь со скоростью около 2,5 миллиона километров в час. Это и является рекордом — год длительностью менее полутора часов!

Интересно, между прочим, что в мире двойных звезд можно встретить не только самый короткий, но и самый длинный год. Например, ближайшая к Земле звезда, в созвездии Цен-

тавра — она так и называется «Проксима Центавра» («проксима» — по-латыни «ближайшая»), — входящая в систему уже даже не двойной, а тройной звезды, совершает годичное обращение вокруг главной пары других звезд этой тройки (точнее, вокруг общего центра масс) за 800 тысяч лет. Вот это год! А для некоторых комет длительность года достигает даже нескольких миллионов лет, настолько вытянуты их орбиты.

Нужно отметить, что сверхкороткий год, вроде рекордного для двойной звезды Стрельца, может оказаться особенно интересным для науки и сослужить ей поистине бесценную службу. С его помощью можно надеяться раскрыть одну из самых сокровенных и важных тайн природы. Речь идет о великой тайне тяготения (ей посвящена последняя, 10-я глава книги).

С тех пор как Исаак Ньютон открыл существование всемирного тяготения, прямодушно заявив, что не может объяснить природу этой таинственной силы, почти два с половиной столетия наука безуспешно пыталась получить ответ на этот вопрос. Решить задачу впервые удалось лишь величайшему физiku нашего века Альберту Эйнштейну в его знаменитой общей теории относительности.

По теории Эйнштейна, являющейся в настоящее время общепризнанной в науке теорией тяготения, гравитация (или тяготение) представляет собой особую универсальную силу, не похожую на остальные силы, существующие в природе, например силу электрического взаимодействия. Природа гравитации связана с особыми свойствами пространства, в котором находятся большие массы вещества. Как принято говорить теперь, такие массы как бы «искривляют» пространство, вследствие чего движение какого-либо тела по инерции уже перестает быть прямолинейным и равномерным. Например, движение планет по своим орбитам вокруг Солнца, хотя и является по-прежнему движением по инерции, совершается уже по другим законам — законам, которые в первом приближении, как известно, установлены Кеплером.

Теория Эйнштейна получила ряд блестящих экспериментальных подтверждений. И все же в ней до сих пор есть немало еще не до конца выясненных вопросов, которые не удаётся проверить на опыте. Все подобные неясности привлекают к себе огромное внимание ученых, ибо речь ведь идет в данном случае о самых фундаментальных основах бытия, о важнейших законах, управляющих Вселенной.

Одной из таких проблем, особенно живо обсуждающейся современной наукой, является вопрос о существовании грави-

тационных волн. Из теории Эйнштейна следует, что когда одно массивное тело обращается вокруг другого, например Земля вокруг Солнца, то они должны излучать энергию в виде своеобразных волн, названных гравитационными (или просто гравиволнами). Эти волны совершенно отличны от всех других видов излучения, и, в частности, они исключительно слабы. Возможно, именно это последнее обстоятельство и не позволило до сих пор открыть на опыте существование гравиволн. А между тем их открытие имело бы поистине неоценимое научное значение, а может быть, сыграло бы и немалую роль в практической жизни. Например, имеются теоретические предпосылки возможности использования гравиволн для целей связи; это была бы поистине всепроникающая, вселенская связь — не только на Земле (сквозь земной шар, ибо гравитационные волны практически не поглощаются веществом), но и с другими мирами, с цивилизациями далеких планетных систем.

Впрочем, настойчивые попытки ученых обнаружить гравитационные волны, может быть, привели к первому успеху. Есть некоторые основания считать, что в опытах американского профессора Д. Вебера в 1968—1971 годах удалось впервые зафиксировать такие волны. Во всяком случае, созданные для этой цели сверхчувствительные приборы, удаленные друг от друга на сотни километров, в нескольких случаях регистрировали одновременно такие колебания, которые, пожалуй, нельзя считать ни случайностью, ни объяснить их какими-либо другими известными причинами. Если и есть здесь серьезные сомнения, то только потому, что пока не известны такие космические источники колоссальной энергии, которые могли бы излучать зарегистрированные волны. Эксперименты будут продолжаться, они ведутся и у нас в стране. Их результаты имеют огромное значение для понимания строения Вселенной.

Интенсивность гравитационных волн, как это следует из теории, прямо зависит от скорости обращения небесных тел. Уменьшение периода обращения должно привести к возрастанию интенсивности испускаемых волн гравитации. Может быть, при уменьшении продолжительности земного года в десять раз интенсивность испускаемых гравиволн уже станет настолько значительной, что их можно будет зарегистрировать с помощью чувствительных приборов? Во всяком случае, ученые связывают очень большие надежды с недавним открытием двойной звезды, о которой мы уже говорили, — ведь там длительность обращения просто фантастически мала. Как показывают расчеты, если эта стремительно обращающаяся звездочка име-

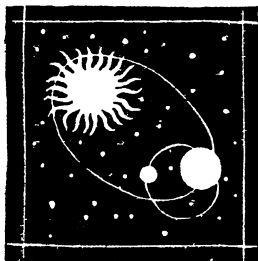
ет массу не меньше одного процента массы главной звезды, то современные приборы должны дать ответ на вопрос, существуют ли в действительности гравитационные волны.

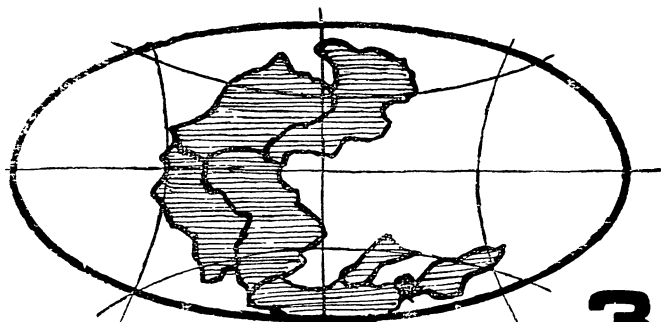
Между прочим, уменьшение скорости суточного вращения Земли, то есть уменьшение длительности суток, тоже может оказаться ценным средством проверки общей теории относительности. Ведь по этой теории тяготение зависит не только от массы тела в соответствии с законом Ньютона, но и от того, неподвижно тело или оно вращается вокруг своей оси. При быстром вращении сила тяготения должна заметно возрасти.

Может быть, при сильном изменении длительности суток сила тяжести на поверхности Земли изменится уже настолько, что ее изменение удастся зафиксировать на опыте? Это был бы замечательный эксперимент, хотя, конечно, пусть уж этот эксперимент останется воображаемым, проведенным в нашем гипотетическом мире.

Ну что ж, вот уже и появился хоть какой-то смысл воображаемого переселения в мир иных констант. Жить в этом мире, как видим, неуютно.

Но чем не пожертвуешь ради науки?

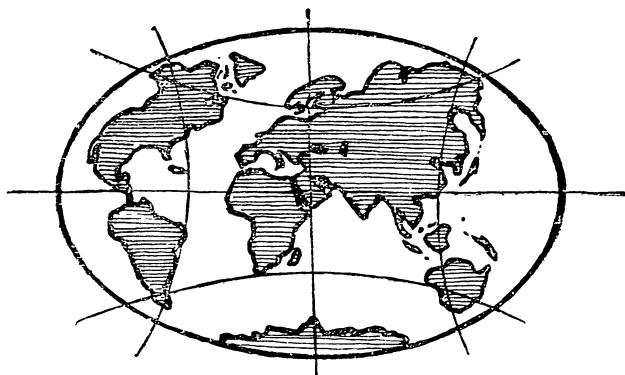




З

В НЕВИДИМОЙ ПАУТИНЕ

ЧЕЛОВЕК УСТУПАЕТ ЖИВОТНЫМ ■ НИТИ АРИАДНЫ ■ ОПИЛКИ И СТРЕЛКА ■ ЗЕМЛЯ — МАГНИТ ■ НОВАЯ КОНСТАНТА ■ ИСКОПАЕМЫЙ МАГНЕТИЗМ ■ ВУЛКАНИЧЕСКАЯ ЛАВА И РАДИОАКТИВНЫЕ ЧАСЫ ■ СВИДЕТЕЛИ С ОКЕАНСКОГО ДНА ■ КОНТИНЕНТЫ ДРЕЙФУЮТ ■ ДИНАМО В ЦЕНТРЕ ЗЕМЛИ ■ ГИГАНТСКИЕ ЯЩЕРЫ И МИКРОСКОПИЧЕСКИЕ РАДИОЛЯРИИ ■ КОСМИЧЕСКАЯ КАТАСТРОФА! ■



Несмотря на все искусство (им поистине нельзя не восхищаться!), с которым природа создала наши органы чувств, они все же реагируют далеко не на все воздействия внешней среды. Многие животные превосходят человека в этом отношении и обладают более совершенными органами чувств. И тут, вероятно, тоже проявляется мудрость природы...

Так или иначе, но в отличие от некоторых животных мы не слышим ультразвук и не видим инфракрасных и ультрафиолетовых лучей света, не реагируем на рентгеновы лучи и магнитное поле. Ну что ж, будем верить, что обладание этими качествами никак не украсило бы нашу жизнь, а сделало бы ее, наверное, даже более трудной и неприятной. Животные же наделяются ими, очевидно, только в тех случаях, когда это жизненно важно для них в борьбе за существование.

Мы даже не догадываемся, например, что все пространство, в котором живем, пронизывает невидимая паутина силовых линий земного магнитного поля. А для птиц эти линии являются, вероятно, важнейшими ориентирами, своеобразными нитями Ариадны, безошибочно ведущими их к далекой цели в тысячекилометровых перелетах. Используют геомагнитное поле и стаи рыб в глубинах океана, и пчелы, и другие насекомые.

О том, что любой магнит создает магнитное поле со своеобразными силовыми линиями, знает каждый школьник хотя бы по широко известному опыту с железными опилками. Стоит подвести магнит под лист бумаги, на котором в беспорядке насыпаны железные опилки, как прежний хаос в их расположении сменяется строгим порядком. Опилки выстраиваются стройными шеренгами вдоль невидимых силовых линий магнитного поля, делая их как бы овеществленными. Тайное становится явным.

Вместо железных опилок можно воспользоваться обычным компасом — его магнитная стрелка немедленно установится вдоль силовой линии поля. Но, как известно, устанавливается она в строго определенном положении и без всякого магнита, неизменно располагаясь вдоль линии, указывающей примерно на Полярную звезду. Это свойство магнитной стрелки оказалось поистине спасительным для мореплавателей еще в далеком средневековье — оно позволяло им ориентироваться в океане. Правда, моряки думали, что стрелку отклоняет сама Полярная звезда, но это несколько не мешало им пользоваться магнитным компасом.

Однако уже почти четыреста лет назад было установлено, что Полярная звезда тут ни при чем и что отклоняет стрелку

магнитное поле самой Земли — она является гигантским магнитом.

С тех пор и по сей день наука тщательно изучает геомагнитное поле, как его называют, и знает о нем, пожалуй, больше, чем о любом другом из многочисленных свойств земного шара. И не напрасно: ведь от этих детальных знаний иной раз зависит жизнь многих людей, путешествующих по земле — по суше, океану или по воздуху.

К счастью для штурманов и вообще путешественников, геомагнитное поле изо дня в день остается, в общем, одним и тем же. И это постоянство, как установлено наукой, сохраняется в течение последних примерно... семисот тысяч лет. Поэтому геомагнитное поле, его интенсивность и направление, можно считать своеобразной физической константой из семейства знакомых незнакомцев.

Правда, речь может идти лишь о практической, а вовсе не строгой неизменности, подобно тому как это происходит и с двумя уже известными нам константами — сутками и годом. На самом же деле геомагнитное поле изменяется по силе и по направлению очень медленно — в течение многих столетий, и резко, быстро — в случае так называемых магнитных бурь, которые зависят от вспышек на Солнце.

И все же интенсивность геомагнитного поля — явная константа.

Однако играет ли эта константа сколько-нибудь серьезную роль в нашей жизни? Или, может быть, изменись она, мы ничего не заметим?

Ответ на этот вопрос и должно дать наше очередное путешествие в мир иных констант, в мир с сильно отличающимся от истинного геомагнитным полем.

Будет ли этот мир действительно необыкновенным?

Впрочем, может быть, и нет нужды в воображаемом путешествии? Может быть, в далеком прошлом Земли были периоды, когда геомагнитное поле сильно отличалось от нынешнего?

Как в этом убедиться? Да и возможно ли это? Разве магнитное поле оставляет после себя какие-нибудь следы, которые можно разыскать подобно каменному топору доисторического человека или костям ископаемых животных, чтобы восстановить, как это делают археологи и палеонтологи, давно минувшее?

Оказывается, следы есть, и ученые научились их находить, хотя и сравнительно недавно: каких-нибудь несколько десяти-

летий назад, когда были заложены основы новой науки — палеомагнетизма.

Ископаемый магнетизм?

Что-то странное...

Поневоле поражаешься настойчивости и искусству, с которым ученые стараются проникнуть мысленным взором в давно минувшее прошлое, используя для этого научные строгие и в то же время изящные методы палеомагнетизма.

Представьте себе, что в какой-то точке земной поверхности в давние времена нерадивый путешественник утерял компас, который потом постепенно оказался погребенным — засыпанным песком, опавшими листьями, в общем, наслоениями многих прошедших лет. Если бы стрелка компаса за все эти годы не меняла своего положения, то археолог, которому посчастливилось бы найти компас, мог бы с уверенностью сказать, каким было направление геомагнитного поля в этой точке в то время, когда компас был потерян. Правда, путешественнику следовало бы потерять для этого еще и часы с календарем, чтобы можно было установить, когда именно это случилось.

Не слишком ли фантастичной выглядит подобная находка ученого?

Однако именно подобные находки лежат в основе палеомагнетизма.

Разумеется, ищут не компас; о каком компасе может идти речь, если имеется в виду время, отстоящее на сотни тысяч лет от нынешнего?

К счастью, природа подарила ищущим ученым нечто, ничем не уступающее компасу.

Если у вас под рукой есть какой-либо магнит, например магнитный стержень (так называемый диполь: один конец стержня является северным, другой — южным полюсом магнита), то вам легко лишить его магнитных свойств, превратив в простой кусочек железа. Для этого достаточно нагреть стержень до температуры примерно 700° , или до так называемой точки Кюри, названной в честь открывшего ее знаменитого французского ученого Пьера Кюри. Если теперь раскаленный стержень охлаждать, то, перейдя через точку Кюри в обратном направлении, он снова станет магнитом, правда слабым, ибо намагнитится в геомагнитном поле, сила которого невелика (напряженность равна примерно 0,5 гаусса). Но стержень наш намагнитится по-разному, в зависимости от его положения относительно силовых линий поля, — если располо-

жить его вдоль этих линий, то он станет как бы настоящей стрелкой компаса.

Не правда ли, тут уже проглядывает идея «ископаемого компаса»? Нужно лишь найти подходящее остывающее вещество. Ну, а такого на земле всегда было сколько угодно — это обыкновенная лава, вытекающая из вулкана при извержении.

Вначале температура лавы всегда выше точки Кюри, и она всегда содержит некоторое количество сплавов железа, способных намагничиваться. Поэтому при остывании и кристаллизации лавы в нее как бы «вмораживаются» силовые линии геомагнитного поля в виде множества кристалликов, превратившихся в миниатюрные магнитные стрелки, ориентированные вдоль силовых линий.

Опыт сразу же подтвердил это предположение. Так, например, при изучении лавовых потоков, образовавшихся на Гавайских островах при вулканических извержениях 1907, 1935 и 1955 годов, выяснилось, что направление «замороженных» в лаве магнитных силовых линий точно соответствует истинному направлению силовых линий геомагнитного поля в данном месте: за все эти годы оно оставалось неизменным, как и полагается константе. Незначительные смещения магнитных полюсов Земли получили точное отражение и в лавовых потоках тринадцати изученных извержений вулкана Этны, зарегистрированных с 1381 года.

«Замороженные» в лаве компасы оказались даже лучше настоящих, ибо они указывали истинное пространственное положение магнитной силовой линии, проходящей через данную точку.

Чтобы компас справился с подобной задачей, его стрелку следовало бы установить не на оси, как обычно, а на шаровом шарнире — тогда стрелка вращалась бы не в плоскости компаса, а устанавливалась под тем углом к земной поверхности, что и силовая линия. Геомагнитное поле очень близко к уже известному нам магнитному диполю, то есть оно примерно такое же, какое было бы у стержневого магнита, расположенного внутри земного шара между его полюсами; впрочем, такое же поле создает и равномерно намагниченный шар.

Силовые линии выходят из одного полюса и, изгибаясь своеобразной невидимой дугой, охватывающей половину земного шара, входят в другой полюс.

Палеомагнитные исследования вулканической лавы были

проведены в самых разных местах Земли — на экваториальных Галапагосских островах и в Японии, в Советском Союзе и в Африке, в Арктике и Индии.

И всюду результат был один и тот же: за последние примерно семьсот тысяч лет геомагнитное поле практически не изменилось.

Но когда ученые дошли до более глубоких и, следовательно, древних лавовых напластований, то их удивлению не было предела. Оказалось, что перед ними настоящий слоеный пирог — за верхним слоем с «нормальными» силовыми линиями шел слой с линиями «обратной» полярности, то есть такими, которые соответствуют геомагнитному полю с полюсами, поменявшимися местами: где был северный, стал южный, потом снова шел «нормальный» слой, еще один обращенный и т. д. И, что самое интересное, где бы ни изучались лавы, в самых разных точках земного шара, результат был одинаковым — одному и тому же историческому периоду соответствовала одинаковая во всех точках полярность геомагнитного поля. Разве не убедительное свидетельство того, что в далеком прошлом Земли происходили неоднократные «рокировки» магнитных полюсов, когда они менялись местами?

Совсем недавно гипотеза об изменениях полярности геомагнитного поля получила довольно неожиданные подтверждения.

Это сделало гипотезу теперь едва ли не самой модной темой дискуссий ученых-специалистов. Одно из подтверждений, пожалуй самое любопытное, было найдено на... океанском дне, в так называемых осадочных породах. Когда в различных частях, постоянно и медленно опускающихся на океанское дно, содержатся железные или другие ферромагнитные вещества, то частицы превращаются в крохотные компасные стрелки, располагающиеся вдоль силовых линий геомагнитного поля, и в этом положении достигают дна. Но тогда, значит, осадочные породы на дне океана тоже должны оказаться «слоеным пирогом», как и лавовые отложения.

Так и случилось на самом деле. Где бы ни брали ученые керны — столбики осадочных пород, — на дне Тихого, Атлантического или других океанов и морей, всюду они получали одну и ту же картину «ископаемого магнетизма». Эти пробы продолжают брать и теперь, и всегда с тем же результатом. Все данные, имеющиеся в распоряжении ученых, говорят о том, что только за последние четыре миллиона лет геомагнитное поле изменяло свою полярность не менее девяти раз, а может,

и чаще¹, причем в последний раз это случилось, как уже упоминалось, примерно семьсот тысяч лет назад. И пусть далеко не все сомнения в правомерности подобного вывода уже отпали (ученые — недоверчивый народ, и они не устают снова и снова допрашивать природу, тем более что, не скроем, кое-какие основания для сомнений у них есть, хотя мы не имеем возможности рассказать здесь об этом подробнее), можно думать, что изменения полярности магнитного поля Земли в ее далеком прошлом действительно происходили.

Но тут возникает одна неожиданная трудность. Когда попытались начертить на географической карте траектории перемещения магнитных полюсов в процессе их «рокировки» (она происходит не мгновенно, а за определенный промежуток времени, правда, обычно значительно более короткий, чем последующий период устойчивости геомагнитного поля), то выяснилось, что далеко не всегда эти траектории полностью совпадают.

Как же объяснить, что, например, палеомагнитные исследования в Австралии дают один путь полюсов, а такие же исследования в Азии — другой, частью совпадающий, а частью резко расходящийся с первым?

Положение казалось безнадежно запутанным, пока не вспомнили одну отвергнутую полвека назад гипотезу о так называемом дрейфе материков. Почти каждый школьник, изучая географию, обращал, вероятно, внимание на очень большое сходство очертаний берегов различных континентов, например восточного побережья Северной Америки — с западным побережьем Европы, Южной Америки — с Азией, и т. п.

Как выяснилось недавно, еще ближе совпадают контуры прибрежных шельфов (подводного продолжения суши) этих континентов. Поэтому гипотеза о существовании в далеком прошлом, примерно двести миллионов лет назад, одного единого праматерика — Пангеа (по другой гипотезе — двух таких материков: северного — Лавразии и южного — Гондваны) была очень заманчивой, но, увы, столь же трудно объяснимой. И вот, когда попытались совместить эту гипотезу с данными палеомагнетизма, то при учете перемещения материков разные пути магнитных полюсов почти точно слились в один. Это было поразительно!

¹ По некоторым данным, за последние 76 миллионов лет оно менялось 171 раз.

Гипотеза о дрейфе материков получила подтверждение и совсем с другой стороны — биологической. Ученым известны ряд фактов, когда одинаковые или очень близкие виды животных и растений существуют или существовали в прошлом на континентах, разделенных океанами, которые совершенно исключают возможность миграции, перемещения этих видов.

Другое дело, если в прошлом оба материка были рядом, представляли одно целое.

Вероятно (мы уже говорили об этом в главе 1-й), дрейфом континентов объясняются и известные ученым палеоклиматические загадки, вроде ледника в Сахаре или ящеров в Антарктиде.

А в чем может заключаться причина подобного поведения гигантских континентов? Какая сила может заставить двигаться материки?

Именно этот вопрос, точнее, отсутствие убедительного ответа на него и заставило в свое время отвергнуть гипотезу о дрейфе.

На выбор предлагаются два ответа. Об одном из них речь пойдет в последней главе книги, а другой, самым неожиданным образом перекликающийся снова с идеями палеомагнетизма, заключается в недавно возникшей гипотезе растекания морского дна. Эта гипотеза основана на одном из величайших событий последнего времени в науке о Земле, именно — открытии гигантской так называемой рифтовой системы (системы ущелий, расселин), охватывающей весь земной шар.

Как же плохо знаем мы дом, в котором живем, если только сравнительно недавно (лет десять назад) ученые обнаружили подводный хребет, идущий главным образом по дну Мирового океана параллельно берегам и делящий его почти точно на две равные части!

Этот хребет является поистине всемирным, глобальным, он нигде не прерывается, охватывая кольцом весь земной шар. И, что самое интересное, хребет почти по всей длине как бы расколот пополам — вдоль его оси сплошной цепью идут своеобразные расщелины, глубокие и узкие ущелья, или рифты, как их называют ученые.

Выходит, существует своеобразная трещина во всей оболочке земного шара!

Очень похоже на то, что это действительно «трещина в горшке» и что через эту трещину содержимое «горшка» выливается наружу; не удивительно, что эта зона растяжения яв-

ляется и областью наибольшей сейсмической активности на Земле.

«Содержимым» является так называемая мантия Земли, лежащая под земной корой. Вещество мантии, несмотря на его вязкость, выдавливается, как считают некоторые ученые, огромными силами давления наружу через рифтовый разлом и растекается затем по морскому дну. Точнее, расплзается само дно, расталкиваемое вытекающим веществом мантии, и, растекаясь, как бы уносит с собой, подобно гигантскому конвейеру, материи со скоростью до нескольких сантиметров в год.

Хотя с этим объяснением причины дрейфа континентов согласны далеко не все¹ и гипотеза растекания морского дна встречает серьезные возражения, одно обстоятельство является бесспорно установленным и весьма интересным для темы нашего рассказа (помимо самого факта продолжающегося движения материков, которое, кстати, было недавно подтверждено прямыми измерениями советского ученого Н. Павлова).

Расплавленное вещество при вытекании из разлома должно остывать и кристаллизоваться, «замораживая» в себе силовые линии геомагнитного поля, существующего у места разлома. Но тогда медленно растекающиеся по дну слои вещества должны стать своеобразной историей геомагнитного поля: чем дальше от места разлома находится слой вещества, тем раньше он вытек и, следовательно, тем более «древним» должно быть «замороженное» в нем магнитное поле.

Палеомагнитные исследования подтвердили, что магнитное поле пород океанского дна располагается действительно симметричными полосами, параллельными разлому с обеих его сторон, причем эти полосы имеют... чередующуюся полярность! Тот же «слоеный пирог», но как бы раскатанный в лист. Похоже, что гипотеза перемены полюсов геомагнитного поля подтверждается еще раз...

Но как можно объяснить причины такой перемены? К сожалению, наука не может пока дать убедительный ответ на этот вопрос, что, разумеется, отнюдь не укрепляет позиции сторонников самой гипотезы. Да и как ответить, если до сих

¹ Все большее признание ученых получает гипотеза неомобилизма, или плитотектоники, представляющая собой развитие гипотезы Вегенера. В соответствии с этой гипотезой земная кора состоит из ряда гигантских плит, как бы плавающих в верхнем, относительно маловязком слое мантии — астеносфере. Перемещение плит и вызывает дрейф связанных с ними континентов.

пор ничего определенного не известно о самой природе геомагнитного поля, хотя, как мы уже говорили, наука знает почти все о его свойствах. Наибольшей поддержкой пользуется гипотеза о магнитогидродинамическом происхождении геомагнитного поля, так называемая гипотеза динамо. Предполагается, что в раскаленном ядре земного шара возникают кольцевые течения. А поскольку вещество ядра имеет, вероятно, металлический характер и потому электропроводно, то эти течения, равносильные электрическому току, и создают магнитное поле. В свою очередь, поле поддерживает возникшие течения в ядре, так что получается что-то вроде самовозбуждающейся динамо-машины.

Все это правдоподобно, но вот о первоначальной причине возникновения конвективных течений можно высказывать лишь разные предположения. Более или менее очевидной оказывается лишь связь этих течений с суточным вращением Земли — не зря ведь магнитные полюсы соседствуют с географическими.

Может быть, перемена мест магнитных полюсов Земли вызвана столкновением земного шара с крупным небесным телом?

Эта точка зрения получила несколько лет назад неожиданную поддержку, когда в осадочных породах на дне океана вблизи острова Явы и Австралии были обнаружены в огромных количествах мельчайшие стеклянные частички, так называемые тектиты.

Загадка тектитов давно стоит перед наукой, их находили и раньше на суше, правда гораздо более крупные, причем полагаются они в нескольких определенных зонах. Но если раньше общая масса тектитов в Австралийской зоне определялась примерно в 1500 тонн, то находка на дне океана увеличила общую массу тектитов до... 150 миллионов тонн! Такая масса эквивалентна шару диаметром в треть километра — это уже настоящий астероид. Но что самое интересное, возраст микротектитов совпал с периодом последней перемены полярности геомагнитного поля — они образовались семьсот тысяч лет назад! И еще: вперемежку с тектитами на самом острове Ява в осадочных породах этого «катастрофического» периода нашли большое количество останков доисторического человека, множество костей ископаемых слонов, гиппопотамов и других животных — целое доисторическое кладбище! Все это позволяет предположить, что тектиты образовались из расплавленного вещества большого космического тела при взры-

ве его в воздухе и это вызвало ряд катастрофических последствий на Земле.

В Сибири, у реки Подкаменная Тунгуска, где в 1908 году упал знаменитый Тунгусский метеорит, вызвавший столько споров, тоже обнаружено множество подобных же микротектитов. Может быть, и в других случаях геомагнитное поле меняло свою полярность в результате подобных космических столкновений? Средние частоты этих явлений близки друг к другу.

Поддержкой других ученых пользуется идея о том, что изменение полярности геомагнитного поля связано с особенностями течений в земном ядре. Может быть, например, в ядре существуют две взаимодействующие системы кольцевых конвективных токов противоположного направления, так что полярность геомагнитного поля определяется ими поочередно?

Что магнитное поле планеты в принципе может иметь разную полярность, показывает пример Юпитера, у которого полярность магнитного поля противоположна земной по отношению к направлению суточного вращения.

Известны и примеры периодического изменения полярности. У Солнца, например, обладающего слабым магнитным полем, полярность изменяется регулярно через каждые одиннадцать лет в соответствии с циклом солнечной активности.

Полярность магнитного поля многих звезд меняется периодически, каждые несколько часов. Но непериодическое изменение полярности геомагнитного поля вызывается, вероятно, какими-то иными причинами.

Существенно, что при каждой перемене полярности геомагнитного поля, как это установлено палеомагнитными исследованиями, сила поля (его напряженность) сначала уменьшается почти до нуля, а затем, после изменения полярности, снова возрастает до первоначального значения. Выходит, в далеком прошлом Земля не раз становилась миром с сильно ослабленным магнитным полем.

Ну и что же, сказывалось это как-нибудь на самой Земле и ее обитателях?

Этот вопрос волнует нас, конечно, не только в связи с темой книги. Он может иметь важное значение для судеб всего человечества. Ведь тщательные наблюдения за поведением геомагнитного поля показывают, что в течение последних столетий оно медленно, но неизменно ослабляется, примерно на

пять процентов в столетие. Может быть, при дальнейшем ослаблении (по некоторым предположениям, примерно через две тысячи лет сила поля может уменьшиться почти до нуля) последует изменение полярности, как не раз уже случалось?

Но тогда не на страницах книги, а в самом деле мы сможем оказаться в мире иных констант с сильно ослабленным геомагнитным полем.

Каково нам будет?

По опыту прошлого есть основания считать, что любое значительное изменение геомагнитного поля связано с резкими климатическими изменениями, усилением вулканизма и землетрясений. В общем, жизнь становится при этом, очевидно, менее уютной.

Не исключено, что начнется новый период оледенения, а может быть, наоборот, растают полярные льды.

Во всех случаях последствия для жизни на Земле могут оказаться катастрофическими.

Некоторые ученые полагают, что периоды резкого ослабления геомагнитного поля в истории Земли были одновременно и биологическими катастрофами, связанными с вымиранием многих видов животных и растений. Например, до сих пор нет убедительного научного объяснения таинственной массовой гибели гигантских доисторических ящеров. Есть предположение, что эти катастрофы вызваны прекращением защитного действия геомагнитного поля, экранирующего земную поверхность от губительного космического излучения.

Действительно, если исчезнет геомагнитное поле, то не станет так называемого радиационного пояса Земли, открытие которого явилось одним из самых замечательных достижений первого этапа развития космонавтики.

Радиационный пояс играет роль своеобразного защитного зонта-экрана для мчащихся из космоса опасных для жизни частиц высокой энергии. Эти частицы, по крайней мере многие из них, как бы застревают в паутине силовых линий геомагнитного поля на высотах более пятисот километров, образуя радиационный пояс. Может быть, космические частицы, проникнув к поверхности Земли в периоды ослабления геомагнитного поля, погубили наследственный аппарат некоторых видов животных и это привело в конце концов к их вырождению?

Сторонники этой гипотезы ищут ее подтверждения в совпадении дат быстрых эволюционных изменений, массовой гибели животных, исчезновения некоторых видов зоопланктона,

например радиоларий, с периодами перемены полярности геомагнитного поля. Однако их оппоненты не без основания указывают на то, что главной защитой на Земле от проникающей космической радиации является земная атмосфера, так что при исчезновении радиационного пояса интенсивность излучения на поверхности Земли увеличивается не настолько, чтобы вызвать губительные мутации, то есть внезапные изменения наследственных признаков.

Разве только в те же критические для земной жизни периоды по случайному совпадению (впрочем, случайному ли?) резко усилилась интенсивность космического излучения?

Но если о влиянии радиационного пояса на жизнь у земной поверхности еще можно спорить, то оно совершенно очевидно для космонавтов на околоземных орбитах ниже пятисот километров. Влияние радиационного пояса ощутимо даже для пассажиров сверхзвуковых транспортных самолетов, вынужденных совершать полет на высоте двадцати и более километров.

Если исчезнет геомагнитное поле, то перспективы околоземной космонавтики и высотной авиации станут гораздо менее ясными — защита от неослабленного проникающего излучения может потребовать непомерно тяжелой экранировки.

А как будут совершать свои перелеты птицы, лишившись путеводных магнитных силовых линий? Лабораторные опыты показали, что птицы теряли в этом случае обычную ориентацию.

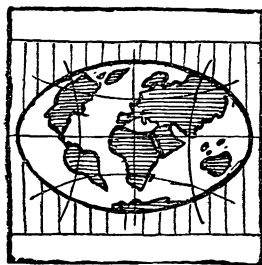
Впрочем, наука еще только начинает догадываться о скрытом влиянии магнитного поля на многие жизненные процессы. Зарождающуюся новую науку — магнитобиологию — ждет несомненно большое будущее¹. Можно предположить, что исчезновение или даже сильное ослабление геомагнитного поля наверняка окажет, хотя, может быть, и не сразу, заметное влияние на все проявления жизни на Земле. Какое именно влияние, пока неизвестно. Ясно одно: резкое уменьшение нашей константы — геомагнитного поля — наверняка не будет благоприятным для земной жизни. К счастью, подобная реальная угроза для Земли если и возникнет, то никак не раньше, чем через тысячи лет, а к тому времени могущество человека станет безграничным, и он справится с этой угрозой.

¹ Недавно молодому советскому ученому В. Чернышеву удалось разгадать одну из давних загадок — причину массовых перелетов насекомых: оказывается, ими управляют... магнитные бури, возникающие при солнечных вспышках! Советские ученые установили влияние магнитного поля на миграции угрей — это тоже было загадкой.

Ну, а как будет чувствовать себя человек и все живое в мире с намного увеличенной интенсивностью магнитного поля?

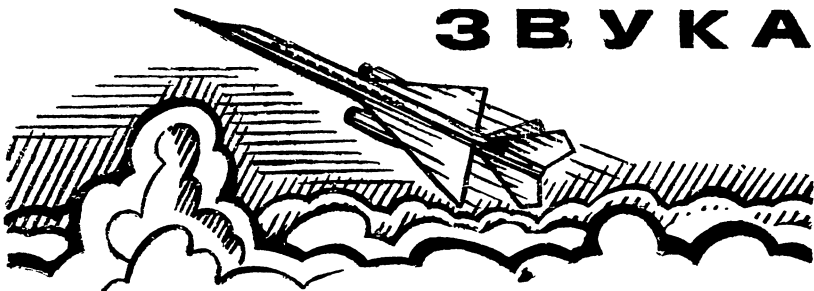
К сожалению, для убедительного ответа на этот вопрос у науки сегодня еще меньше данных. Впрочем, на Земле такой «необыкновенный» мир вообще вряд ли возможен: ведь ни в одном из палеомагнитных исследований значительного усиления геомагнитного поля по сравнению с нынешним не зафиксировано — максимального значения оно достигало примерно полторы тысячи лет назад, когда на пятьдесят процентов превосходило нынешнее. Можно считать лишь установленным, что усиление геомагнитного поля сопровождается похолоданием климата.

Одно, пожалуй, бесспорно: мир со значительно увеличенным магнитным полем вряд ли окажется благоприятным для людей и для всего живого. Ведь жизнь на Земле зародилась и развивалась в иных условиях и к ним, этим условиям, приспособлена. Любые резкие изменения таят в себе нешуточную угрозу.





СЕКРЕТЫ ЗВУКА



МИР БЕЗМОЛВИЯ ■ РАДИОРАЗГОВОР С МАРСОМ ■ ВОЗДУХ СТАЛ ЦВЕТНЫМ ■ ВЗБУНТОВАВШЕЕСЯ КРЫЛО ■ ТАЙНА СВЕТЯЩЕГОСЯ «УСА» ■ ШТУРМ СКОРОСТИ ЗВУКА ■ «ЗВУКОВОЙ БАРЬЕР» НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ПУТИ ■ СВЕРХЗВУКОВОЙ «КУКУРУЗНИК» ■ УДАР ЗВУКА РАЗРУШАЕТ ДОМ ■ К АБСОЛЮТНОМУ НУЛЮ ■ ИСКУССТВЕННЫЙ УРАГАН В ИСКУССТВЕННОЙ АТМОСФЕРЕ ■ ОБЛАКА НА ВЕНЕРЕ ■ ТЕМПЕРАТУРА ВОЗДУХА 30 000° ■ МЕЗОННАЯ АТМОСФЕРА ■



Вряд ли кто-нибудь из нас задумывается в повседневной жизни о роли той физической константы, которой является скорость звука.

Мы хорошо знаем и используем многие особенности звука — его силу, высоту тона, тембр. Мы говорим: «Громче, ничего не слышно!» или: «Великолепный бас!» Но разве обычно мы думаем о том, с какой скоростью звук распространяется в воздухе? Распространяется, и отлично.

Действительно, отлично, что распространяется. Страшно представить себе даже на минуту, каким мрачным и безжизненным стал бы мир, лишись он звуков. Мир безмолвия... Исчезнет все богатство звуков, речи, песни, музыки. Крайне затруднится общение людей между собой, ненужными будут телефон и радио. Жизнь станет серой, бедной, скучной.

К счастью, мы не знаем жизни без звуков, жизни в абсолютном безмолвии. И подобно тому как мы не ценим многого, к чему привыкли, что считаем само собой разумеющимся и естественным, так не ценим по заслугам и такого чудесного блага природы, как звук.

Да, но при чем здесь скорость звука? Не все ли равно, в конце концов, какова ее величина? Чуть раньше или чуть позже дойдет до нас звук, долетит слово, домчится песня, только и всего. Мы и не заметим, наверное.

Можно представить себе, конечно, и случаи, когда знание скорости звука оказывается действительно важным. Ясно, например, что без нее не обойтись летчикам сверхзвуковых самолетов, иначе как они будут знать, что совершают полет со скоростью, превышающей скорость звука? Конечно, это только шутка, ибо переход через скорость звука не прозеваешь — природа о нем сигнализирует.

Не обойтись без величины скорости звука и в том случае, если, например, хочется узнать, как далеко разразилась гроза. Наверное, многие из вас не раз следили по часам за тем, сколько секунд проходит от вспышки молнии до удара грома. Достаточно умножить эти секунды на скорость звука (число секунд нужно просто поделить на 3), чтобы определить, за сколько километров бушует гроза.

Но ведь летчики, тем более «сверхзвуковые», — как-никак пока еще меньшинство рода человеческого, да и грозы бывают не каждый день, поэтому всеобщее пренебрежение такой физической константой, как скорость звука, кажется вполне обоснованным.

Однако, может быть, только кажется?

Ну что ж, чтобы не допустить ошибки, воспользуемся уже ставшим для нас традиционным приемом и совершим путешествие в мир иных констант. На сей раз иной константой будет скорость звука.

Итак, скорость звука уменьшена в десять раз.

Обычное значение скорости распространения звука в воздухе равно примерно $1/3$ км/сек, точное значение зависит от температуры воздуха. Как видите, скорость весьма большая. В природе у нас на земле движение с такой скоростью обычно не происходит, только человеку удалось ее намного превзойти. При уменьшении же в десять раз скорость звука станет равной примерно 30 м/сек (точнее, около 120 км/час).

Это еще быстрее, чем скорость движения абсолютного большинства животных, но уже медленнее, чем полет многих птиц, ведь наиболее быстрокрылые из них — индийские и австралийские стрижи — достигают скорости 400 км/час и даже более.

Но зачем звуку соревноваться с птицами? Ни к чему как будто.

Представьте себе, что вы беседуете с товарищем, сидя за столом. Звуки будут пролетать расстояние в два-три метра, которое разделяет собеседников, не за сотую долю секунды, как обычно, а за десятую долю. Наверняка вы и не заметите разницы.

Но вот другой пример. Вероятно, многим из вас приходилось хоть раз слышать на улице или на большой площади, как по-разному доносятся звуки из различно удаленных радиорепродукторов. Обычно это бывает во время праздников или демонстрации. Динамик на ближайшем столбе уже закончил передачу приветствия демонстрантам, а его сосед с крыши дома еще только договаривает последнее слово. Почти как в многоголосом хоре, когда одни голоса вторят другим. Само собой разумеется, что при десятикратном уменьшении скорости звука запоздание будет значительно большим, доноситься позднее будут уже не отдельные слоги, а целые слова, а то и фразы. И, что совсем плохо, накладываться будут звуки не только от сильно удаленных друг от друга, но и от близко расположенных репродукторов. Значит, сила звука не успеет уменьшиться — обычно доносящиеся издалека звуки гораздо слабее.

Тут уж может получиться, что соседние репродукторы будут просто забивать друг друга.

Но с этим не так уж трудно справиться, разместив репро-

дукторы подальше один от другого. Гораздо труднее получить чистый звук в каком-нибудь зале или большой комнате. Звук будет доходить до уха разными путями: непосредственно от источника и после отражения от стен и потолка. Если скорость звука мала, то запоздавшее эхо будет достаточно сильным, для того чтобы мешать слушателям. Конечно, и тут можно справиться с трудностью, улучшив акустику: например, покрыв стены специальным звукопоглощающим материалом. Хотя уменьшение скорости звука явно сопряжено с дополнительными трудностями, все же они не столь уж велики, чтобы считать скорость звука действительно важной физической константой.

Разумеется, если скорость звука станет еще меньшей и, например, сравняется со скоростью улитки, то положение изменится радикально. Тогда даже обычный разговор станет практически невозможным. Скажешь фразу — и жди несколько минут, пока собеседник тебя услышит, а затем еще столько же времени его ответ будет плестись по тому же пути в обратном направлении.

Все равно как при радиоразговорах с Марсом...

Но, оказывается, чтобы почувствовать пренеприятные последствия уменьшения скорости звука, вовсе нет необходимости уменьшать ее до скорости улитки. Эти последствия будут весьма ощутимы и действительно крайне неприятны и при значительно более скромном уменьшении, например десятикратном.

Чтобы объяснить, в чем здесь дело, нужно вспомнить кое-какие физические явления, с которыми связано распространение звука.

Вот зазвенел колокольчик, раздался звук трубы или зазвучала песня — все равно во всех случаях окружающий воздух уже перестал быть спокойным. В нем появилось, как говорят физики, возмущение. Вибрирующие металлические стенки или связки гортани вызывают быстро чередующиеся местные повышения давления, периодически сжимают прилегающие к ним слои воздуха. Но сжатие воздуха не остается ограниченным, локализованным у вибрирующей пластинки: оно распространяется вокруг, во все стороны в виде волн давления, чуть-чуть большего, чем окружающее. Чередующиеся волны сжатия и следующего за ними разрежения и есть звук. Правда, не всегда колебания воздуха звучат; для этого их частота должна быть в пределах, воспринимаемых человеческим ухом. Чуть чаще или чуть реже — и колебания станут уже неслыш-

ными, хотя их по-прежнему будут называть звуковыми¹. Кто теперь не знает, например, о неслышимых звуках с частотой в десятки и сотни тысяч колебаний в секунду, чудодейственном ультразвуке, играющем все большую роль в технике? Начинает использоваться в технике и низкочастотный, тоже не слышимый человеком звук — инфразвук (с частотой всего в несколько колебаний в секунду). А в самое последнее время внимание ученых привлекает к себе новая отрасль науки — звукоэлектроника, изучающая неслышимые звуковые колебания сверхвысокой частоты, большей, чем миллиард колебаний в секунду. Это уже не ультразвуковые, а гиперзвуковые колебания, как их иногда называют.

Скорость звука и есть скорость распространения очень малых по величине местных возмущений воздуха, то есть незначительных повышений давления.

Вернемся опять к источнику звука, например к вибрирующей пластинке, и приглядимся повнимательнее к тому, как она вызывает звук. Вот пластинка прогнулась и сжала прилегающий к ней слой воздуха — давление в слое чуть-чуть возросло. Почему? Да потому, что молекулы, из которых состоит воздух, как бы сплотились потеснее, их число в единице объема возросло. Они просто не успели еще уйти из сжатого объема, когда вибрирующая пластинка быстро его уменьшила. Но теперь давление вблизи пластинки увеличилось, и лишние молекулы стремятся уйти из сжатого объема, с тем чтобы давление в нем уравнилось со всем окружающим воздухом. Однако как только молекулы передвинутся чуть в сторону от вибрирующей пластинки, их станет больше уже в соседнем слое, а значит, теперь там давление увеличится. Потом повышение давления переместится еще немножко, в рядом лежащий слой, потом еще и еще. По воздуху будет перемещаться волна давления. С какой же скоростью? Да, очевидно, близкой к той, с какой перемещаются сами молекулы воздуха, ведь именно они и несут с собой это повышение давления.

Вот и получился очень важный вывод: скорость звука в

¹ Звуковые колебания, не слышимые человеком, могут отлично слышать другие живые организмы. Так, например, более высокочастотные (ультразвуковые) колебания слышат летучие мыши, комары и др., низкочастотные (инфразвуковые) — медузы и др. В частности, как установлено, медузы слышат инфразвуковые колебания, хорошо распространяющиеся в воде и на 10—15 часов предшествующие наступлению шторма. Учеными создан прибор, предсказывающий штормы путем регистрации их предвестников — инфразвуковых колебаний.

воздухе близка по порядку величины к средней скорости теплового движения молекул, то есть того беспорядочного, хаотического движения, которым обладают молекулы воздуха. Но почему полученный вывод так уж важен?

Да потому, что уменьшение скорости звука сказывается не на одном только звуке, это было бы еще полбеды. Оно скажется и на всех других физических явлениях, связанных с движением молекул воздуха. В некоторых случаях уменьшение скорости движения молекул может изменить характер физического явления до неузнаваемости. Мы сейчас увидим, к каким неожиданным и важным практическим следствиям это может привести.

Вот мимо нас по улице промчалась автомашина. Кажется, обычное явление. Но стоит внимательнее приглядеться, чуть-чуть глубже вникнуть в суть происходящих физических явлений, как они, пожалуй, перестанут казаться и обыкновенными и ясными.

Вот в мгновение ока машина переместилась на метр-другой вперед. Но погодите-ка: ведь впереди нее была не пустота, там был воздух, пространство буквально кишело мириадами молекул. Теперь уже это пространство занято машиной. Куда же девались молекулы воздуха? Ведь не пронизывают же они машину насквозь?

Разумеется, на прежнем месте их уже нет, там автомашина, и она непроницаема для молекул. Очевидно, именно она вытолкнула молекулы из того объема, где они были раньше. Теперь молекулы умчались в смежные, соседние области пространства.

Машина подействовала на молекулы как своеобразный поршень, заставила их расчистить путь. Так?

И да и нет. Да — ибо именно машина заставила молекулы переместиться. Нет — потому что только относительно ничтожное число молекул воздуха в действительности получило «щелчок» от машины, столкнувшись с ней. Все другие — абсолютное большинство молекул — лично с машиной «незнакомы». И тем не менее они уступили ей дорогу, потому что получили сигнал о движении машины. Этим сигналом — прочь с пути! — послужили те самые ничтожно слабые волны давления, которые, как мы знаем, распространяются в воздухе со скоростью звука, — своеобразные неслышимые звуки.

Действительно, непосредственно перед ветровым стеклом движущегося автомобиля образуется слой слегка уплотненного воздуха с повышенным давлением (помните вибрирующую

пластинку?). И тотчас же волна давления начинает распространяться со звуковой скоростью во все стороны, намного опережая автомашину. Эти сигналы как бы предупреждают впереди лежащие слои воздуха о приближении автомобиля, заставляют их расступаться и плавно обтекать его контуры.

Если бы воздух не был прозрачным, а имел цветную окраску¹, то обычное движение автомашины по улице мимо нас превратилось бы в исключительно красивое зрелище. Мы увидели бы своими глазами, как еще далеко перед машиной воздушные струи вдруг начинают расходиться, разделяться, готовя своеобразный коридор для приближающегося автомобиля. И вот уже струи обтекают автомашину — то плавно, а то вдруг срываясь с различных выступов и образуя отчетливо видимые вихревые дорожки. Только далеко за промчавшейся машиной струи снова сходятся, вихри затухают и рассеиваются, воздух снова спокоен и недвижим.

Еще более эффектной была бы картина полета самолета в таком цветном воздухе, потому что самолет снабжен большими крыльями, с которых будет стекать пелена цветного воздуха с вихревыми фестончиками по краям, и потому главным образом, что скорость движения самолета значительно больше, чем автомобиля. А с ростом скорости характер обтекания воздухом движущегося тела изменяется, все явления становятся как бы более отчетливо выраженными, более яркими. Появляются и вовсе новые особенности обтекания, происходят новые процессы. Например, там, где обтекание было плавным и струи воздуха спокойно и невозмущенно обтекали обводы движущегося тела, теперь поток, как говорят, турбулизируется, завихряется.

Но особенно разительно меняется характер обтекания в тех случаях, когда скорость движущегося тела приближается к скорости звука в воздухе. А ведь именно с околозвуковыми скоростями летают современные реактивные лайнеры — линейные пассажирские самолеты. Военные же самолеты, истребители и бомбардировщики, способны совершать полет со скоростью, намного превышающей скорость звука.

Давайте-ка для примера проследим за тем, как летит реак-

¹ Часто ученые-экспериментаторы, работающие в области аэродинамики, то есть изучающие законы движения воздуха, применяют специальные методы, чтобы сделать видимым это движение: добавляют к воздуху окрашенные дымовые вещества, мельчайшую цветную пыль и т. д. Так удалось раскрыть немало секретов окружающего нас прозрачного воздуха.

тивный пассажирский многоместный самолет. Разумеется, с земли мы ничего толком даже в цветном воздухе не увидим. Можно, конечно, усесться в удобное кресло у одного из окон-иллюминаторов самолета и наблюдать за обтеканием какой-то части его крыла. Но уж наблюдать так наблюдать: используем еще один самолет и будем летать на параллельных курсах то совсем рядом, то выше или ниже. Вот тут-то перед нами должна раскрыться замечательная картина обтекания, вся его чудодейственная механика, понятная, правда, только посвященным.

Попробуем и мы в этом разобраться.

Сначала, когда скорость еще сравнительно невелика, все будет как прежде. Но вот скорость возрастает и достигает обычного для современного самолета значения — больше 900 км/час. И тут мы замечаем некую странную, просто удивительную вещь. Сначала на одном каком-то участке крыла, потом на другом. «Странных» участков становится все больше. Мы просто отказываемся верить своим глазам, но факт остается фактом: отдельные участки поверхности крыла перестают сообщать впереди лежащим слоям воздуха о своем приближении, уже не шлют более вперед сигналы в виде звуковых волн давления.

Как мы об этом судим? Да очень просто. Смотрите сами: видите, окрашенная струйка мчится прямо на крыло? Мы знаем, что она должна еще далеко от крыла «почувствовать» его приближение, получив сигнал в виде звуковой волны, и начать отклоняться, изгибаться, «готовиться» к обтеканию крыла. Именно так и ведут себя все струйки, кроме тех, которые имеют дело с «взбунтовавшимися» участками поверхности крыла. Что же происходит с ними?

Вот, например, одна струйка. Она движется прямо на крыло: никакого сигнала о предстоящей встрече нет. И вдруг почти у самого крыла со струйкой происходит нечто непонятное — она резко тормозится и круто отворачивает в сторону. С соседней струйкой происходит то же самое. Мы видим, как от такого участка крыла отходит яркая пелена, какой-то светящийся «ус»; все столкнувшиеся с ним струйки именно здесь резко уменьшают свою скорость и отворачивают в сторону. Для нас «ус» почти неподвижен: он как бы припаян к крылу и мчится вместе с ним, только слегка подрагивая и чуть-чуть перемещаясь взад-вперед. И все набегающие воздушные струйки с разбегу ударяются об «ус» — это должен быть стремительный, мощный удар! После удара, при котором скорость

струйки скачком сразу уменьшается, а ее направление резко меняется, струйка уже течет вдоль обвода крыла точно так же, как и все остальные.

Что же это за таинственный, невиданный «ус» и почему на крыле появились «бунтующие» участки, не посылающие вперед обычных сигналов в виде волн давления?

Вот тут-то мы и сталкиваемся с той исключительно большой ролью, которую играет скорость звука во всей механике обтекания быстродвижущихся тел. Именно в скорости звука и таится секрет «уса» и «взбунтовавшихся» участков крыла. Ибо в действительности все без исключения участки крыла посылают вперед сигналы в виде волн давления. Но если сигналы от всех остальных участков крыла проходят, как обычно, далеко вперед и готовят воздух к встрече с крылом, то участь сигналов, посылаемых «бунтующими» участками крыла, иная. Им просто не удастся прорваться вперед и уйти далеко от крыла, для них границей служит... «ус».

«Ус» является как бы своеобразным сборищем всех посланных крылом вперед волн давления; здесь они собираются, не в силах пробиться сквозь какой-то барьер. Сам-то барьер оттого и появляется, что он представляет собой как бы бесчисленное множество «спрессованных» вместе слабых звуковых волн давления. В результате такого «спрессования» образуется уже не слабая, а весьма сильная волна, которую называют ударной. Ее отличие от обычных звуковых волн не только в интенсивности, но и в том, что ударная волна не отходит от крыла — она как бы присоединена к нему и движется вместе с ним.

Почему же на некоторых участках крыла разительно меняется картина обтекания? Да потому, что на этих участках скорость обтекающего их воздуха становится равной и даже больше звуковой. Вот она, скорость звука!

Оказывается, что, хотя самолет летит со скоростью, существенно меньшей скорости звука¹, некоторые участки крыла самолета как бы летят с гораздо большей, сверхзвуковой скоростью — с такой скоростью обтекает их встречный поток воздуха. В значительном увеличении скорости обтекания крыла по сравнению со скоростью полета ничего неожиданного нет: именно в нем секрет подъемной силы, создаваемой крылом.

¹ Скорость звука в воздухе при нормальной температуре равна примерно 1225 км/час, а скорость рейсовых лайнеров не превосходит 1000 км/час.

На некоторых участках крыла, в зависимости от их геометрической формы, скорость обтекающего потока возрастает особенно сильно. На них-то с приближением скорости полета к звуковой в первую очередь возникает сверхзвуковое обтекание. Самолет летит еще с дозвуковой скоростью, а эти участки находятся уже в сверхзвуковом полете!

Теперь-то понятно, почему звуковая волна давления не в состоянии пробиться вперед на «взбунтовавшихся» участках крыла: они «летят» со сверхзвуковой скоростью! Встречный сверхзвуковой поток сносит слабые волны давления, движущиеся в воздухе только со звуковой, то есть меньшей скоростью. Поэтому набегающий поток воздуха не получает никаких сигналов о приближении самолета, он остается, как говорят аэродинамики, невозмущенным. И вдруг со всего разбега налетает на «ус» — стоящую торчком на крыле ударную волну.

Бейте со всего размаха молотком по куску железа—кусок да и молоток тоже скоро сильно разогреются: энергия удара перешла в тепло. То же происходит и при ударе набегающей струи о неподвижную ударную волну: энергия удара и тут теряется, переходя в тепло, «ус» оказывается горячим. Но потеря энергии означает увеличение лобового сопротивления самолета, то есть того сопротивления, которое оказывает летящему самолету воздух¹. Значит, на самолете нужно установить более мощный двигатель и затратить на полет больше топлива. Оказывается, «ус» обходится самолету не дешево.

Так задолго до звуковой скорости полета самолет начинает ощущать приближение звукового барьера. Понятно, почему появилось это образное выражение: скорость звука долгое время была действительно непреодолимым барьером на пути развития авиации. Для перехода через звуковой барьер нужны гораздо более мощные двигатели — дают о себе знать все те же ударные волновые «усы» на крыльях.

Когда самолет летит со скоростью звука или с еще большей скоростью, то через ударную волну проходит весь воздух, обтекающий самолет. Ясно, что это приводит к резкому увеличению потребной мощности самолетного двигателя. Не появившись реактивные двигатели, способные развивать при малом весе огромную мощность, и звуковой барьер остался бы навсегда недостижимой мечтой для авиации.

Вот что такое, оказывается, скорость звука!

¹ Увеличение лобового сопротивления, связанное с образованием ударной волны, часто и называют поэтому волновым сопротивлением.

Что ж, может быть, теперь, когда нам стала яснее роль скорости звука, мы сможем наконец ответить на давным-давно поставленный вопрос: как скажется уменьшение скорости звука в десять раз?

Если неприятности, вызываемые движением в воздухе с околосзвуковыми скоростями и известные нам теперь, в нашем реальном мире начинаются при скоростях порядка 200—250 м/сек, или 750—900 км/час, то в мире иных констант, с другим значением скорости звука, все будет иначе. Если скорость звука станет равна всего 30—35 м/сек, то, значит, соответственно переместится и звуковой барьер. Связанные с ним неприятности начнутся уже при скорости 20—25 м/сек. Представляете себе, ведь это всего 70—90 км/час, то есть скорость, давно достигнутая и превзойденная не только автомобилями, но и поездами! Значит, в нашем новом мире звуковой барьер спустится с небес на землю (впрочем, в небе он, конечно, тоже останется).

Поневоле вспоминаются слова, произнесенные в конце прошлого века знаменитым французским гонщиком Левассором после выигрыша им автомобильной гонки в Булонском лесу: «Я делал тридцать километров в час. Это было безумие!» В нашем мире с уменьшенной скоростью звука такая скорость действительно окажется безумно большой.

На самом деле, поскольку движение с околосзвуковой скоростью требует многократно увеличенной мощности двигателя, то, очевидно, оно окажется просто невозможным при использовании современных двигателей. Мир станет снова гораздо более «медленным», таким, каким он был, например, полвека назад. Уже не удастся прокатиться из Москвы в Ленинград со скоростью до 160 км/час, которой достигают современные экспрессы на этой линии. Максимально возможной скоростью для всего наземного транспорта станет, вероятно, «околосзвуковая» скорость меньше 100 км/час. Мифическими покажутся существующие рекорды скорости для автомобилей, уже перешагнувших «авиационную» скорость 1000 км/час. Так, в ноябре 1965 года гонщику А. Арфону удалось промчаться по дну высохшего Соленого озера в США с рекордной скоростью 927,8 км/час. На его автомобиле «Зеленое чудовище» был установлен авиационный турбореактивный двигатель мощностью более 17 000 л. с.

Но и этот рекорд не был долговечным: вскоре гонщик К. Бредлоу, тоже на реактивном автомобиле, достиг скорости 966,6 км/час. А в октябре 1970 года еще одна сухопутная ра-

кета, «Голубое пламя» (длиной более 11 м), под управлением Г. Габелича промчалась со скоростью 1001,7 км/час, впервые перейдя тысячекилометровый рубеж. На таких реактивных автомобилях предполагают преодолеть даже звуковой барьер, достичь скорости 1600 км/час. Но это слишком рискованные эксперименты...

Если и в нашем мире иных констант с уменьшенной скоростью звука реактивные двигатели спустятся с небес на землю, то по внешнему виду автомобили будут мало похожи на нынешние. Об этом можно судить хотя бы по «Зеленому чудовищу», на которое с опаской глядели посетители автомобильной выставки в Вене в 1970 году — уж очень непривычен и страшноват с виду этот автомобиль.

Проникают реактивные двигатели и на железнодорожный транспорт — у нас в стране в 1970 году начались испытания первого экспериментального образца сверхскоростного железнодорожного локомотива с двумя турбореактивными двигателями. Может быть, в наш век огромных скоростей опыт авиации окажется действительно полезным и в наземном транспорте?

Иной будет в нашем воображаемом мире и авиация. Ведь даже скромный «По-2», героический «кукурузник» времен Великой Отечественной войны, превратится в сверхзвуковой самолет! Положим, не превратится, а превратился бы, если бы смог совершить полет с прежней скоростью. Но, увы, для этого его надо сделать реактивным — что же останется тогда от «По-2»?

Многое изменится в авиации при вдесятеро уменьшенной скорости звука. В этой связи нужно упомянуть о так называемом звуковом ударе.

В нашу эпоху сверхзвукового полета все меньше становится людей, которых удивит теперь неожиданный удар грома среди ясного неба, — все знают, что это пролетел сверхзвуковой самолет, хотя он остался невидимым. Действительно, если самолет летит со сверхзвуковой скоростью на сравнительно малой высоте (впрочем, высота в несколько километров уже достаточно мала), то мощная ударная волна протянется от самолета до самой земли. А ведь мы знаем уже, что давление в ударной волне может быть значительно большим, чем в окружающей атмосфере. Когда такая волна мчится по земле со скоростью самолета, то она воздействует на все, что встречается ей на пути. Попадетсч человеческое ухо — она хлопнет по барабанной перепонке подобно сильному удару грома или

близкому артиллерийскому выстрелу (хорошо еще, если этим дело ограничится). А ведь случалось, что от подобного звукового удара не только вылетали стекла из окон, но бывали и более серьезные разрушения¹.

Проблема звукового удара — одна из наиболее сложных в настоящее время в связи с предстоящим переходом на сверхзвуковую гражданскую авиацию. Ведь из-за него сверхзвуковой полет в зоне городов и крупных населенных пунктов возможен лишь на высотах более 15, а то и 20 км. Подъем на высоту должен протекать с дозвуковой или малой сверхзвуковой скоростью, а это очень невыгодно.

Что же будет со звуковым ударом в нашем мире иных констант? Ведь если скорость звука будет равна всего 30 м/сек, то практически вся авиация станет сверхзвуковой. Но тогда от звуковых ударов на земле (правда, они будут более слабыми) просто некуда будет укрыться. Как бы не пришлось выселять авиацию в самые глухие места планеты.

В общем, как видно, мир с уменьшенной скоростью звука будет не таким уж удобным. Лучше, пожалуй, не трогать и эту физическую константу.

А кстати, как можно ее изменить? Ведь это мало сказать — уменьшить скорость звука в десять раз. Как это сделать? Да и можно ли вообще?

Аэромеханика учит, что скорость звука в воздухе зависит практически лишь от одной величины — температуры воздуха. Чтобы скорость звука уменьшилась в десять раз, абсолютная температура воздуха должна соответственно уменьшиться в 10^2 , или в сто раз². Значит, вместо обычных примерно 300°K температура воздуха в нашем мире иных констант должна стать равной... 3°K!

Оказывается, чтобы звук распространялся вдесятеро медленнее, нужно охладить воздух до температуры всего на 3° выше абсолютного нуля. Но ведь даже при гораздо более вы-

¹ Разрушительная ударная волна образуется при любом взрыве. Интересно, что при определенных условиях ударную волну в воздухе можно видеть невооруженным глазом. Например, однажды в Англии один человек, стоявший на холме, увидел вдруг длинную узкую тень, мчавшуюся к нему через долину. Когда она добежала до него, человек ощутил сильный толчок и услышал грохот взрыва. Оказалось, в нескольких километрах от него взорвался пороховой склад. Воздух в образовавшейся взрывной волне был так сжат, что отбрасывал тень — звук стал видимым. Иногда видят ударную волну и летчики.

² Скорость звука пропорциональна корню квадратному из абсолютной температуры воздуха.

сокой температуре воздух уже сжижается. Значит, так сильно уменьшить скорость звука просто невозможно, наш мир иных констант в этом случае явно нереален. Даже сравнительно небольшое уменьшение скорости звука требует значительного снижения температуры. Например, при самых сильных морозах, зарегистрированных на земле, у полюса холода в Антарктиде, скорость звука равна примерно 275 м/сек, то есть меньше обычной почти на 20% ¹. На больших высотах, в стратосфере, где царит постоянный мороз градусов 60, скорость звука меньше, чем у Земли, процентов на 15. А мы хотели уменьшить ее в десять раз!

Выходит, что мир с уменьшенной скоростью звука есть неизбежно и мир небывалого холода. Нет уж, лучше не надо.

Правда, строгости ради надо бы сказать и о другом возможном способе уменьшения скорости звука, помимо снижения температуры. Этот способ довольно широко используется в технике, при проведении экспериментальных исследований в области аэродинамики.

Все знают, какую огромную роль в развитии авиации играют так называемые аэродинамические трубы, созданные у нас в стране впервые К. Э. Циолковским и Н. Е. Жуковским.

Задолго до первого полета будущего самолета его крыло, небольшую модель всего самолета, а то и полномасштабный самолет «продувают» в аэродинамической трубе. При продувке выясняются многие достоинства и дефекты будущего самолета. Сколько блестящих, казалось, проектов новых самолетов бесславно закончили свой так и не начавшийся жизненный путь в... аэродинамической трубе!

Впрочем, это неверно, что бесславно. Без неудач одних ведь не было бы поразительных успехов других, не было бы и самой авиации. Вряд ли переоценишь вклад в эти победы авиации, сделанный чудесным оружием ученого — аэродинамической трубой.

Если первые трубы были довольно примитивными воздушодувками, то этого никак не скажешь о новейших, совершенных и сложных аэродинамических трубах. Число их теперь поистине огромно, и заслуживают они отдельного рассказа, эти чудо-трубы нашего века.

¹ Морозу в 83°C соответствует абсолютная температура 190°K и скорость звука, равная примерно $340 \sqrt{\frac{190}{288}} = 340 \cdot 0,81 \approx 275$ м/сек (температуре 288°K (15°C) соответствует скорость звука ≈ 340 м/сек).

Но особенно усложняется задача экспериментатора, когда в аэродинамической трубе должен совершить свой имитированный «полет» новейший сверхзвуковой самолет. Ведь создать в трубе сверхзвуковой воздушный поток очень сложно, в особенности если это труба большого сечения и в ней испытываются не миниатюрные модели, а бывает, и небольшой самолет в натуральную величину.

Не удивительно, что работающую сверхзвуковую аэродинамическую трубу иной раз снабжает энергией мощная электростанция, способная обеспечить электроэнергией крупный современный город с его заводами, трамваями, кинотеатрами и уличным освещением. Становятся понятными настойчивые поиски ученых, стремящихся как-нибудь обойти необходимость в колоссальных затратах энергии.

Для этого предложены да уже и используются многие хитроумные методы. И вот один из них и приходит в голову в связи с нашей задачей как-нибудь иначе уменьшить скорость звука — не за счет глубокого холода.

Если вдуматься, то вовсе не случайно совпадение наших нынешних интересов (не таких уж и серьезных, если на то пошло), направленных на уменьшение скорости звука, с задачами аэродинамиков (вот их-то заботы крайне серьезны!) по снижению затрат энергии на работу труб. Ведь если бы удалось в аэродинамической трубе уменьшить скорость звука, то имитировать сверхзвуковой «полет» можно было бы и просто и дешево, ибо потребная скорость потока и соответственно затрата мощности были бы небольшими. Но как это сделать?

Мы уже знаем, что в воздухе скорость звука можно уменьшить только снижением температуры. Но почему в трубе должен течь обязательно воздух? Конечно, он идеален в том смысле, что в точности повторяет ту среду, в которой обычно летает самолет. Но зато он и плох, ибо скорость звука в нем слишком высока. Может быть, из двух зол выбрать меньшее для данного случая и заменить воздух каким-либо другим газом, в котором скорость звука была бы не так велика?

А есть ли такие газы? Да, они существуют. Наука даже в точности знает, какие именно свойства газа определяют скорость звука в нем. Это прежде всего молекулярный вес — с его увеличением скорость звука уменьшается, что вообще-то вполне понятно. Помните, мы уже говорили о близком родстве скорости звука со скоростью теплового движения молекул? А какая молекула быстрее движется при одной и той же температуре, тяжелая или легкая? Нетрудно понять, что легкая,

ибо кинетическая энергия обеих молекул одинакова, раз температура одна и та же. Поскольку кинетическая энергия молекулы есть ее масса, умноженная на квадрат скорости движения и деленная пополам, то при одной и той же кинетической энергии быстрее будут двигаться более легкие молекулы, обладающие меньшей массой.

Вот почему скорость звука в водороде почти в четыре раза больше, чем в воздухе. А в каком-нибудь тяжелом газе, с громоздкими, массивными молекулами, скорость звука будет намного меньшей, чем в воздухе. Поэтому в аэродинамических трубах иногда применяют сложные органические газы, так называемые фреоны (подобным же газом создается мороз в вашем домашнем электрическом холодильнике; правда, там он применяется из-за других своих качеств, не имеющих отношения к скорости звука). Могут применяться и некоторые другие тяжелые газы и специально приготовленные смеси газов, заменяющие воздух.

Если бы в нашем мире иных констант атмосфера состояла не из воздуха, а из такого тяжелого газа, то скорость звука в ней была бы значительно меньшей и при обычных температурах. Например, на Венере, как установлено исследованиями советских автоматических межпланетных станций «Венера», атмосфера состоит почти из чистого углекислого газа. Его молекулы примерно в полтора раза тяжелее молекул воздуха; следовательно, на Венере мы оказались бы в необыкновенном мире с уменьшенной скоростью звука. Но как дышать в этой углекислой атмосфере? Судя по всему, для нас, людей, лучше нашего воздуха нет. И пусть уж скорость звука в воздухе остается такой, как есть.

Но ведь мы еще не совершили путешествия в мир с увеличенной в десять раз скоростью звука. Теперь уже, после того как мы знаем многие свойства этой, казалось, невинной константы, совершить подобное путешествие будет намного проще.

В том новом мире, в котором наша константа вдесятеро возрастет, звук будет доноситься очень быстро (хотя все еще примерно в 100 тысяч раз медленнее света), а сверхзвуковые скорости полета будут уже близки к космическим. Летать с подобными скоростями можно лишь на очень большой высоте, в крайне разреженном воздухе. Ибо если звуковой барьер в этом мире будет далеко отодвинут в сторону больших скоростей полета, то неизменным останется другое грозное препятствие на пути сверхскоростного полета — тепловой барьер.

Хотя воздушные струи, набегающие на летящий с огромной скоростью самолет, и не будут встречаться с ударной волной (она будет появляться лишь при очень высокой скорости полета, порядка $2,5 \text{ км/сек}$), все же вблизи самолета их ждут крупные «неприятности». Непосредственно прилегающие к обшивке самолета воздушные слои будут заторможены, и, следовательно, их огромная кинетическая энергия перейдет в тепло. Самолет будет лететь как бы внутри раскаленной печи; ни один металл не выдержит такого жара. Только высоты в 30 и даже 40 км, где воздух крайне разрежен, станут доступными для сверхзвукового полета в этом мире с вдесятеро увеличенной скоростью звука.

Но дело не только в тепловом барьере, хотя с ним действительно связаны, пожалуй, наибольшие неприятности. Если в мире иных констант скорость звука возрастет в десять раз, то околозвуковой (а тем более сверхзвуковой) полет в таком «модифицированном» мире будет соответствовать скорости самолета, по крайней мере в шесть—восемь раз большей, чем скорость звука в нашем обычном, реальном мире. Полет с такими большими сверхзвуковыми скоростями (ученые говорят: с числом M , равным 6—8) обычно принято называть в отличие от сверхзвукового — гиперзвуковым.

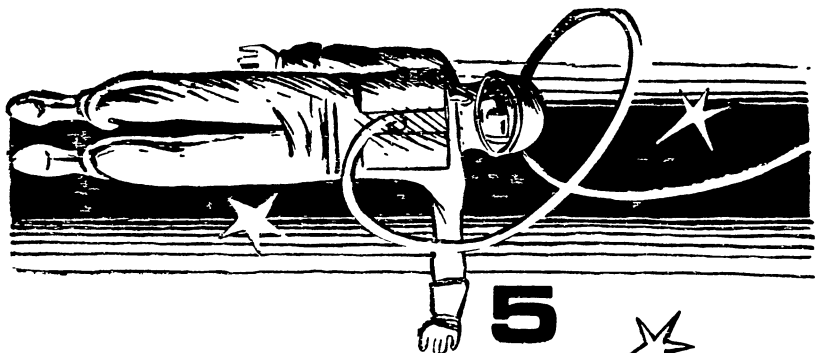
В науке новые термины появляются не зря. Это полностью относится и к данному случаю: гиперзвуковой полет во многом качественно отличается от простого сверхзвукового. Эти отличия связаны главным образом с тем, что воздух, обтекающий самолет, разогревается до столь высокой температуры, что свойства воздуха становятся резко отличными от обычных. По существу, авиации (разумеется, ракетной технике и космонавтике тоже) приходится в этих случаях иметь дело как бы с совсем иной средой, в которой совершается полет, а вовсе не с хорошо изученным воздухом. Под действием очень высоких температур, во многие тысячи градусов, воздух уже перестает быть обычным газом, он превращается в плазму, электризуется. Из-за этого законы обтекания самолета сильно меняют свой характер (они изучаются уже не аэродинамикой, как обычно, а магнитогазодинамикой), изменяются летные качества самолета — его подъемная сила, лобовое сопротивление и др. В слое «плазменного воздуха» у поверхности самолета происходят необычные химические реакции, с которыми никогда не приходится встречаться при меньших скоростях. Изучение всех этих явлений еще только начинается. По существу, настоящая научная целина. Но без решения проблем гипер-

звукового полета даже самый «обычный» скоростной дозвуковой полет в мире иных констант с увеличенной в десять раз скоростью звука не совершишь.

А как получить такую скорость звука? Если путем повышения температуры воздуха, то понадобится разогреть его до 30 000°! Какой уж тут тепловой барьер, если все сущее мгновенно испарится в этой неимоверной жаре...

И даже использование газа с самыми легкими молекулами — водорода — не поможет делу. Ведь скорость звука в водороде, как мы знаем, больше, чем в воздухе, всего примерно в четыре раза. Тут понадобилась бы какая-то совсем необычная сверхлегкая атмосфера. А раз таковой не существует, то, значит, наш новый мир иных констант и вовсе недостижим.





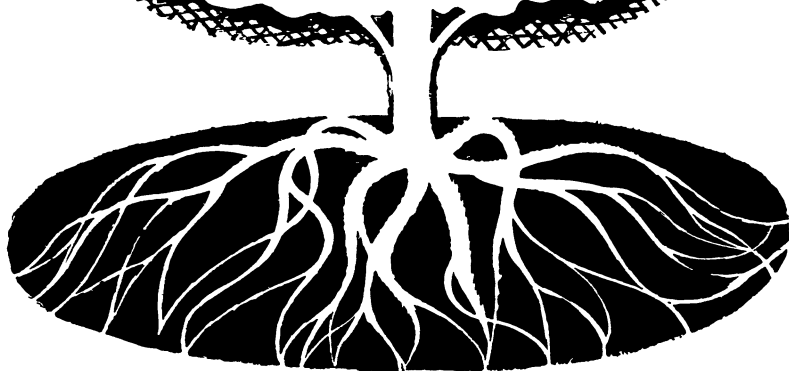
5

ЭЛИКСИР

ЖИЗНИ

ГОЛУБОЕ

НЕБО ТИТАНА ■ ЗАДЫХА-
ЮЩИЙСЯ МИР ■ КИСЛОРОД
И ПОЖАРНИКИ ■ ЧЕМ ДОЛЖНЫ ДЫ-
ШАТЬ КОСМОНАВТЫ! ■ АЗОТ И ЖИЗНЬ ■
ГАЗОВАЯ «ШУБА» ПЛАНЕТЫ ■ ЛУЧШЕ, ЧЕМ
ИДЕАЛЬНАЯ ■ МИРОВОЙ ПОТОП ИЛИ ВСЕОБ-
ЩЕЕ ОЛЕДЕНЕНИЕ ■ ЧЕЛОВЕК РУБИТ СУК, НА
КОТОРОМ СИДИТ ■ ЗА ПОМОЩЬЮ К ХЛО-
РОФИЛЛУ ■ ЗАВОДЫ ПЕРЕНОСЯТСЯ В
КОСМОС ■ ФАБРИКА ФОТОСИНТЕЗА ■
ОПАСНЫЙ УЛЬТРАФИОЛЕТ И НЕВИ-
ДИМЫЙ ЩИТ ■ НОВЫЕ ПОМПЕИ ■
ПТИЦЫ КАШЛЯЮТ ■



Сутки, год, скорость звука... Как велика, оказывается, роль этих физических констант в нашей повседневной жизни! Поистине они были для нас знакомыми незнакомцами,— конечно, мы знали об их существовании (кто этого не знает!), но недостаточно хорошо представляли себе, каково истинное значение «незаметных» и столь привычных констант.

А ведь их в природе немало, и самых разных. Обычно мы просто не обращаем на них внимания. Но стоит быть чуть внимательнее, чуть наблюдательнее, и какими новыми и незнакомыми оказываются для нас иной раз привычные явления! Сколько новых, неизвестных особенностей мы тогда обнаруживаем в том, что, казалось, досконально знаем!..

Так бывает и среди людей, и в окружающей нас природе. Да вот хотя бы воздух, о котором шла речь в предыдущей главе. Обыкновенный воздух, которым мы дышим, в котором живем. Всякий знает, как велика роль земной атмосферы в нашей жизни. Страшно даже подумать, какой стала бы Земля, лишись она воздуха,— мертвой, мрачной, безмолвной, безжизненной, как Луна. Воздух — это истинный эликсир жизни.

Для нас хороша именно наша, земная атмосфера. Очутись мы, например, на Титане, одном из спутников Сатурна, тоже имеющем атмосферу, вряд ли стали бы расточать ей похвалы. А ведь там и небо синее, и мир полон звуков, и самолеты летать могут. Да нам-то что от этого, если дышать титанским (или титановским?) «воздухом» мы не можем: атмосфера там из метана! Естественно, жить в светильном газе земляне не могут.

А вот если бы на Титане жили аборигены, «люди» этой планеты, то именно метан был бы для них благодатной атмосферой, а наш воздух — губительным. Конечно, здесь дело не в привычке, а в том, что жизнь приспосабливается к конкретным условиям — она развивается применительно к ним, и всякие другие условия могут оказаться для данной формы жизни уже чуждыми, вредными, неприемлемыми.

Правда, даже среди примерно двух миллионов видов животных, растительных и микроорганизмов, населяющих землю, есть и такие, для которых кислород воздуха не менее губителен. Но ведь не они определяют облик земной жизни. Кстати сказать, недавно на земле найдены бактерии, вырабатывающие в процессе фотосинтеза не кислород, а метан. Уж не подобные ли им живые организмы создали атмосферу на Титане?

Миллионы лет развития привели к тому, что для земной

жизни наилучшей является именно атмосфера Земли¹. И чтобы сделать жизнь на Земле неуютной, а то и вовсе невозможной, нет необходимости заменять воздух метаном. Достаточно даже сравнительно небольшого изменения его химического состава.

Как известно, состав воздуха практически неизменен, в нем всегда одно и то же содержание главных составных частей: примерно 23% по массе кислорода, 76% азота и 1% приходится на другие газы и водяные пары. Состав земной атмосферы можно поэтому также считать физической константой (или, может быть, лучше — химической?). Это еще один знакомый незнакомец, ибо мы отлично его знаем, но вряд ли полностью представляем себе всю его роль в нашей жизни.

В воздухе примерно 1/4 часть по массе (и 1/5 по объему) кислорода. А что, если эта доля кислорода уменьшится вдвое? Это значит, что количество кислорода, которое будет поступать при каждом вдохе в наши легкие, тоже станет вдвое меньшим, то есть будет таким же, как на высоте примерно 5,5 км. Люди и животные будут посажены на крайне скудный кислородный паек. Наступит кислородное голодание, хорошо знакомое летчикам и альпинистам. Вряд ли выдержат его больные — сердечники, гипертоники. Но даже здоровым людям придется очень туго. Любое движение достанется ценой огромных усилий, любой труд будет изнурительным, выматывающим.

Станным станет окружающий нас мир. Все будет происходить, как в замедленном кинофильме: еле передвигают ноги люди, плетутся лошади, даже собаки утратили живость и задор. Да что люди и животные — машины и те явно сдали. Это и не удивительно, ведь все двигатели внутреннего сгорания стали развивать вдвое меньшую мощность — она прямо зависит от количества кислорода, попадающего в цилиндры двигателя. Самый небольшой подъем заставляет их «задышаться», а если он чуть круче, то и вовсе оказывается неприступным. Электростанции развивают вдвое меньшую мощность — в топках котлов теперь может сгорать только половина прежнего количества топлива. Погашена половина электрических огней в городах, остановлена половина станков на заводах. Меньше

¹ Интересно, что, по мнению ученых, два миллиарда лет назад атмосфера Земли была совсем иной по составу, чем сейчас: она состояла в основном из таких газов, как водород, аммиак и пары воды. Изменение состава атмосферы позволило зародиться жизни на Земле, и, в свою очередь, жизнь постепенно меняла состав атмосферы.

выплавляют чугуна домны и вагранки, уменьшилась выплавка стали в мартенах и конверторах.

Медленнее стали летать самолеты, сократился их полезный груз, а некоторые и вовсе не в состоянии взлететь из-за уменьшившейся мощности двигателей. Интересно, что это касается только самолетов с поршневыми двигателями, скорость реактивных лайнеров осталась прежней, и они перевозят прежнее число пассажиров. Ведь из-за того, что лопатки турбин газотурбинных двигателей не выдерживают чрезмерно высокой температуры газов, обычно приходится использовать для сгорания топлива только часть всего воздуха, протекающего через двигатель,— меньше половины. Уменьшение вдвое доли кислорода в воздухе на работе этих двигателей особенно не скажется.

А если содержание кислорода в воздухе уменьшится не вдвое, а в десять раз? Тогда в воздухе будет чуть больше 2% кислорода, и почти чисто азотная атмосфера окажется роковой и для жизни на Земле, и для всех созданных человеком машин, в которых происходит сгорание топлива. Ведь подобное количество кислорода содержится в воздухе на высоте более 16 км — на такой высоте человек почти мгновенно погибает от удушья, а сгорания обычно не происходит.

Губительной окажется бескислородная атмосфера и для растительного мира. На первый взгляд кажется, что это неверно, так как растения на свету не поглощают, а выделяют кислород в процессе своего «дыхания». Главным образом именно благодаря им и содержится кислород в атмосфере, он в основном является продуктом их жизнедеятельности (частично кислород образуется также в результате разложения молекул водяного пара в атмосфере под действием ультрафиолетового излучения Солнца). Прекрати они вырабатывать кислород, и через две тысячи лет в атмосфере останется совсем немного кислорода.

Однако вспомните, что углекислый газ, необходимый растениям, находится в атмосфере в результате главным образом жизнедеятельности животного мира. Погибни он — погибнут и растения, «задохнувшись» без углекислого газа. В природе царит замечательное динамическое равновесие, сложившееся в ходе миллионов лет эволюции жизни; стоит сдвинуть это равновесие, нарушить установившийся кругооборот веществ, и весь отлаженный механизм жизни станет давать перебои, а то и вовсе откажет.

Но, может быть, если нельзя безнаказанно уменьшить со-

держание кислорода в воздухе, то, наоборот, его повышение окажется не только возможным, но и благоприятным?

Увы, нет, и этот путь практически закрыт. Конечно, в обогащенной кислородом атмосфере, например, состоящей наполовину из кислорода и азота, сгорание будет происходить интенсивнее, чем теперь. В топках котлов и цилиндрах двигателей внутреннего сгорания будет выделяться больше тепла, и их мощность возрастет. Правда, придется принять специальные меры, чтобы не произошло прогорания стенок — им будет гораздо горячее. В конце концов, не страшно и то, что избыток кислорода в воздухе намного усложнит задачу пожарников. Каждый, даже небольшой, пожар станет бушующим морем огня, и погасить его будет очень трудно, хотя, вероятно, можно будет разработать новые, более мощные средства тушения.

Участься и будут гораздо более опасными различные взрывы, но и с этим можно будет справиться. Удастся, надо полагать, бороться и с усилившимся окислением металлов, коррозией.

В общем, с техникой на этот раз, вероятно, будет сравнительно благополучно.

Иное дело — живая природа. Для человека и животных вдыхание воздуха с вдвое большим содержанием кислорода не пройдет незамеченным, как свидетельствует весь имеющийся опыт. Правда, летчикам высотных самолетов, да и не только им, часто приходится пользоваться кислородной маской и дышать даже одним чистым кислородом. Но при этом давление кислорода уменьшают настолько, чтобы количество его в легких оставалось прежним, примерно таким же, как и в обычном воздухе, да и продолжительность дыхания должна быть сравнительно небольшой.

В медицинских целях иногда применяют воздух, обогащенный кислородом, но и то в течение лишь коротких промежутков времени. Врачи хорошо знают, как вредны увеличенные дозы кислорода — из лучшего друга и спасителя человека он превращается тогда в опасного врага, вызывая ряд серьезных болезненных изменений в организме. Значит, и увеличить содержание кислорода в земной атмосфере безнаказанно не удастся.

Остается еще одна возможность покушения на нашу константу — химический состав воздуха. Если доля кислорода в нем неприкосновенна, то, может быть, не так обстоит дело со второй и главной составляющей воздуха — азотом? Нельзя ли,

не трогая кислорода, изменить содержание азота в воздухе, заменив его каким-нибудь другим подходящим газом?

Эта возможность кажется вполне реальной. Ведь азот в отличие от кислорода не играет активной роли в нашей жизни (по-гречески «азот» — «безжизненный»). Современная наука считает, что азот, попадающий в легкие при вдохе, выходит оттуда неизменным, не вызвав никаких изменений и в самом организме (отдельные ученые, придерживающиеся иных взглядов, не встречают пока поддержки мировой науки).

Известны проекты, по которым атмосфера в кабине космического корабля именно и должна быть не азотной в своей основе: азот предлагается заменить другим химически инертным газом — гелием.

Гелиевая атмосфера действительно может обладать известными достоинствами по сравнению с обычным воздухом. Она уменьшает опасности, грозящие космонавтам в случае внезапного нарушения герметичности кабины корабля, например, из-за пробоя стенки метеоритом (эти опасности связаны с выделением из крови азота, который растворяется в ней гораздо лучше, чем гелий, и поэтому пузырьки азота могут закупорить кровеносные сосуды), позволяет уменьшить вес корабля, поскольку гелий в семь раз легче воздуха, и др.

В экспериментах, проводившихся в нашей стране, добровольцы-испытатели жили в изолированной камере с гелиевой атмосферой неделями без каких бы то ни было вредных последствий. Вот разве только изменился тембр голоса: он неожиданно повысился почти на целую октаву — баритон стал тенором! Появился даже специальный термин: «гелиевая речь».

Интересно, что замена азота гелием оказывается выгодной не только в космосе, но и под водой. Водолазы знают, что при нырянии на глубину более 50 м в крови так же выделяются пузырьки азота, как и при внезапной разгерметизации кабины высотного самолета, со всеми вытекающими последствиями для здоровья (врачи называют это явление «глубинным опьянением» или «азотным наркозом»).

Недавно в порядке эксперимента спортсмены-ныряльщики были снабжены аквалангами, заряженными не обычным воздухом, а гелиево-кислородной смесью. Оказалось, что предельно допустимая глубина ныряния сразу резко увеличилась, превысив 250 м. Кстати сказать, и в этом случае тембр голоса становился более высоким, характерным для «гелиевой речи». А в опытах, проведенных в США, мыши дышали атмосферой,

состоящей из 75% гелия и 25% кислорода под давлением до 90 атмосфер,— и ничего.

Новая, гелиевая атмосфера Земли обладала бы и некоторыми другими достоинствами. Гелиевый «воздух» оказывал бы меньшее сопротивление движению, ибо сопротивление прямо зависит от плотности, а она была бы значительно меньшей, чем теперь. Значит, самолеты летали бы со значительно большей скоростью при тех же двигателях. Этому во многом способствовало бы и то обстоятельство, что скорость звука в гелиевой атмосфере значительно больше, чем в азотной, и, значит, звуковой барьер со всеми его неприятностями был бы отодвинут в зону гораздо больших скоростей полета.

Похоже, однако, что и на азот в земной атмосфере безнаказанно покушаться нельзя. И не только потому, что он может играть значительную, пока еще мало изученную непосредственную роль в нашей жизни. В состав белков, образующихся в таинственных лабораториях растений, входит азот. Растения заимствуют его из почвы, куда он поступает из воздуха, в результате жизнедеятельности миллиардов особых азотобактерий; они химически связывают атмосферный азот в различные соединения, прежде всего в аммиак¹. Бактерии находятся в особых узелках на корнях ряда бобовых растений (горох, клевер и др.). Механизм связывания атмосферного азота бактериями до конца еще не понят, хотя его значение для человечества трудно переоценить.

Ясно, что стоит изменить привычное содержание азота в воздухе, как тотчас же нарушится извечное равновесие азотного обмена, что немедленно скажется на растительном мире, а через него и на животном. Правда, в лабораторных опытах многие растения, например обыкновенные огурцы, а также отдельные животные (муравьи, черви и др.) неплохо переносят атмосферу, состоящую из 2% кислорода и 98% аргона. Однако эти опыты свидетельствуют лишь об огромной приспособляемости жизни; в течение короткого времени такая необычная атмосфера, может быть, и не оказывается губительной, но совсем иное дело — вся жизнь на Земле.

Пожалуй, хоть это и кажется на первый взгляд неожиданным, в еще большей степени неприкосновенен состав воздуха

¹ Непосредственно из воздуха молекулярный азот не может усваиваться растениями, вследствие чего все живое на Земле находится в зависимости от деятельности азотобактерий. Без них огромное количество азота в атмосфере (8 миллионов тонн над каждым квадратным метром земной поверхности!) было бы недоступным.

в отношении некоторых газов, входящих в него в сравнительно малых количествах. Например, все сильнее начинает волновать ученых проблема углекислого газа в атмосфере. Количество его в воздухе обычно составляет 3—4 сотых процента — ничтожная, в общем, величина (не нужно думать, конечно, что мало и абсолютное количество углекислого газа в воздухе — оно достигает примерно 2800 миллиардов тонн). Однако в последние десятилетия, и в особенности в самые последние годы, количество углекислого газа в атмосфере неотвратно, хоть и медленно возрастает. Мало того, темп этого возрастания тоже увеличивается.

Почему же так пугают ученых лишние десятитысячные доли углекислого газа?

Дело, конечно, не в том, что углекислый газ представляет собой яд для человека (впрочем, полное отсутствие углекислого газа в воздухе не менее вредно для человека, чем его избыток). Чтобы сказалось ядовитое действие углекислого газа, нужны совсем другие, намного большие концентрации (так, например, месячное пребывание в барокамере, заполненной воздухом с 1% и даже 2% углекислого газа, не отразилось на здоровье испытуемых, даже 4% не были смертельны, но вызвали недомогание). А тут — сотые доли процента. Если в них действительно таится серьезная угроза, то это наглядно показывает, как опасно шутить с константами. И снова суть здесь в нарушении удивительного равновесия, которое установилось и поддерживается в природе в ходе всех естественных процессов. Тронь одно из звеньев цепи, любое, пусть самое, казалось бы, несущественное, второстепенное, — и может рассыпаться вся цепь, жизнь на Земле будет поставлена под угрозу. Вот таким, может быть, незаметным, но в действительности крайне важным звеном кругооборота веществ в природе и является углекислый газ, содержащийся в земной атмосфере.

В чем же его значение?

Оказывается, хотя углекислого газа в земной атмосфере относительно мало, именно он играет, может быть, главную роль в невидимой газовой «шубе», укутывающей Землю и регулирующей ее тепловой режим. Как известно, земная атмосфера выполняет эту свою задачу регулирования температуры на земном шаре поистине замечательно. Куда там обычные шубы и пальто, спасающие нас зимой, сосуды Дьюара — термосы для горячего чая или холодного кваса, теплоизоляция, которой мы укутываем котлы, трубопроводы, здания, чтобы уменьшить обмен теплом с окружающей атмосферой! Все эти

ухищрения, используемые человеком, ни в какое сравнение не идут с тем, что создала природа.

Действительно, земная атмосфера благодаря своей прозрачности беспрепятственно пропускает льющееся на земную поверхность живительное солнечное тепло. Представьте себе, что атмосфера вдруг перестала быть прозрачной и начала почти полностью отражать падающие на нее лучи Солнца. Это значило бы, что практически единственным источником тепла на Земле стали ее недра — земной шар был бы скован непроходящим лютым морозом; он заставил бы, вероятно, всю атмосферу выпасть на Землю в виде замороженных газов.

Но если плоха непрозрачная атмосфера, то и ее совершенная прозрачность оказалась бы немногим лучше: беспрепятственно пропуская на Землю солнечное тепло, атмосфера, очевидно, столь же беспрепятственно пропускала бы в космос и тепло Земли по ночам, когда Солнце не светит. Вряд ли такая полная, идеальная прозрачность атмосферы была бы благодеянием природы! Жизнь на Земле в этом случае была бы, вероятно, тоже невозможной.

И вот тут-то проявилось все богатство и многообразие природы. Земная атмосфера, оказывается, вовсе не идеальная по прозрачности, она более чем идеальна! Парадокс объясняется легко. Если атмосфера свободно пропускает лучи Солнца, идущие к Земле, то тепловые лучи, испускаемые Землей, она пропускает далеко не полностью; для них она является отличной ловушкой. Вот каково хитроумное устройство атмосферы: к нам сколько угодно тепла, а обратно — не тут-то было.

Секрет благоприятного для земной жизни устройства атмосферы и связан теснейшим образом с углекислым газом в атмосфере Земли. Солнечные лучи — сравнительно коротковолновое излучение, тогда как тепловые лучи, испускаемые Землей, характеризуются гораздо большей длиной волны. Это и понятно: длина волны теплового излучения определяется температурой — длина волны меньше у нагретого и больше у холодного тела; Земле же, естественно, трудно тут конкурировать с Солнцем. И вот оказывается, что длинноволновое тепловое излучение Земли (оно находится в инфракрасной части спектра электромагнитных колебаний) поглощается в земной атмосфере в основном именно углекислым газом (а также водяными парами). Он-то прежде всего и служит крышкой, которая захлопывается, чтобы запереть солнечное тепло в земном «сундуке». Подобной крышкой оказывается обыкновенное стекло, покрывающее парниковую раму, — оно тоже «ловит»

проникающее внутрь солнечное тепло. Поэтому часто непрозрачность углекислого газа и облаков для инфракрасных лучей называют «парниковым эффектом».

Ясно, что чем больше углекислого газа в атмосфере, тем «плотнее» эта крышка, сильнее «парниковый эффект» атмосферы и больше солнечного тепла остается на Земле. Но, значит, выше должна быть и средняя годовая температура атмосферы: раз больше тепла улавливается, то и воздух нагревается сильнее. И действительно, хотя и сравнительно медленное, но неуклонное накапливание углекислого газа в атмосфере приводит к столь же медленному изменению мирового климата — потеплению на Земле. За последние пятьдесят лет средняя температура земной атмосферы повысилась примерно на один градус, и это уже очень много. Правда, растущая загрязненность атмосферы частицами дыма и пылью вызывает постепенное снижение температуры, уменьшая поступающую на Землю солнечную радиацию¹. Какое из двух противоположных воздействий окажется сильнее, покажет будущее, но оба они грозят человечеству.

На первый взгляд кажется: что страшного в потеплении на Земле? Смягчится зима, не будет сильных морозов, теплый климат распространится на более высокие широты, ближе к полюсам. Как будто хорошо. Но на самом деле это совсем не так.

Если средняя годовая температура атмосферы (точнее, той ее небольшой прослойки — биосферы, — которая заселена живыми существами), равная в настоящее время примерно 15°, существенно повысится, то это может вызвать настоящую катастрофу.

Потепление приведет к бурному таянию льдов, покрывающих в виде ледников горные хребты, и в особенности накопленных в огромных количествах в околполярных районах; ведь 9/10 всего ледникового «щита» Земли находится в Антарктиде, а всего в полярных областях — более 99%. Если бы все льды, общее количество которых, по подсчетам доктора географических наук П. Шумского, равно примерно 27 миллионам кубических километров, вдруг растаяли, то лик Земли решительно изменился бы: уровень Мирового океана повысился бы примерно на 60 м — бесчисленные острова и архипелаги навсегда скрылись бы под водой, были бы затоплены огромные

¹ Каждый процент уменьшения радиации снижает среднюю температуру на 1—1,5°.

пространства суши. Разлившиеся моря, озера, реки слились бы в безбрежные водные равнины, похоронив под толщей воды целые страны. И даже там, где, казалось, всегда была земная твердь, возникнут непроходимые топи и болота: скажется повышение уровня грунтовых вод, а на Севере — таяние вечномерзлой подпочвы.

В далеком прошлом Земли даже несравнимо более слабые изменения климата не раз вызывали катастрофические последствия для судеб не только отдельных городов и селений, но и целых народов. Не лежит ли подобное резкое потепление и в основе древней библейской легенды о мировом потопе?

Ученые считают, что в конце ледникового периода, около пятнадцати тысяч лет назад, средняя температура повысилась сразу примерно на $8-10^{\circ}$, вероятно в связи с каким-то неожиданно наступившим изменением солнечной радиации. Из-за таяния ледников, покрывавших большую часть Северной Америки, Европы и некоторые районы Азии, уровень Мирового океана повысился тогда, по мнению большинства геологов, на 60—75 м. Другое, более позднее потепление, вызвавшее грандиозные наводнения в долинах рек Евфрата и Тигра, произошло примерно за 2700—4500 лет до нашей эры.

Но если это только предположение, то во многих случаях в более позднее время роковая роль вековых климатических изменений установлена наукой с абсолютной достоверностью. Так, например, в начале второго тысячелетия нашей эры, то есть примерно тысячу лет назад, горное оледенение в Европе повсюду отступало: люди продвигались на север, поднимались выше в горы, возникли поселения в Исландии, Гренландии, осваивались горные долины Альп и Кавказа. А через три—четыре столетия ледники снова пошли в наступление, занимая освоенные человеком земли. Именно с этим, как выяснили ученые, связана тайна гибели городов и селений народа аланов на Кавказе, предков современных осетин. Точно так же в XIII веке погибло Хазарское государство со столицей Итиль, расположенной на берегах Каспийского моря, вблизи нынешней Астрахани. Это государство было полузатоплено Каспием, уровень которого поднялся тогда на несколько метров из-за потепления; остальное довершили враги хазар — племена гуров.

Может быть, еще более драматична судьба города Янгикент в Средней Азии, в дельте реки Сырдарьи. Русские путешественники впервые увидели развалины города в 1740 году, причем загадочным было то, что жители явно покинули его

целым. От чего они бежали? Установлено, что причиной бегства и, таким образом, гибели города были... змеи. Вызванное потеплением в конце XIV века повышение уровня Аральского моря привело к затоплению заболоченной и поросшей камышом дельты Сырдарьи, в которой обитали мириады змей. Змеи поползли в город, и его жители в страхе покинули дома.

Как видно, не всякое потепление климата выгодно людям; иногда оно может вызвать грандиозные бедствия. Вот и теперь гидрологов весьма беспокоит происходящее с каждым годом уменьшение альпийских ледников, в которых заключено в виде льда примерно 200 000 км³ воды.

Правда, природа припасла средства, ограничивающие чрезмерно большое повышение средней температуры. Когда все новые пространства суши окажутся покрытыми водой, увеличившаяся площадь водного зеркала приведет к быстрому возрастанию количества испаряющейся влаги. Все плотнее и обширнее будет становиться облачный покров Земли, не пропускающий к ней солнечного тепла.

За периодом потепления может последовать вызванный облачной преградой столь же грозный период оледенения — их было немало в далеком прошлом Земли (достаточно понижения средней годовой температуры атмосферы на несколько градусов, чтобы началось оледенение). Но даже если этого не случится и установится какое-то новое подвижное тепловое равновесие уже при более высокой средней температуре, все равно жизнь на Земле станет куда менее приятной.

Конечно, если накопление углекислого газа в атмосфере вызовет повышение ее средней температуры лишь на несколько градусов (ученые предполагают, что к 1980 году содержание углекислого газа в атмосфере увеличится на 70%, а по другим данным — на 30%; когда оно удвоится, средняя температура воздуха повысится на 3 градуса), то и уровень Мирового океана повысится также всего на несколько метров. Но и этого будет вполне достаточно, чтобы вызвать грозные, катастрофические последствия. Ведь именно воздействием исключительно большой концентрации, примерно 95%, углекислого газа в атмосфере Венеры, как это установлено прямыми измерениями советских автоматических станций «Венера», объясняется, очевидно, столь высокая температура у ее поверхности, близкая к 500°!

Интересно, между прочим, проследить на примере углекислого газа невидимую связь между различными константами из семейства знакомых незнакомцев; иногда она оказывается

совершенно неожиданной. На самом деле, что может быть общего, например, между содержанием углекислого газа и длительностью суток, о которой шла речь в первой главе? Сама мысль о такой связи кажется на первый взгляд абсурдной, а между тем она существует и играет очень важную роль.

Действительно, если содержание углекислого газа в атмосфере Земли возрастает, следовательно, растёт и средняя температура поверхности планеты. Но тогда возрастет и температура недр планеты, ибо иначе не удастся отвести из этих недр наружу выделяющееся тепло радиоактивного распада ряда химических элементов — калия, урана, радия и др. Из-за повышения температуры увеличится количество содержащегося в недрах расплавленного вещества. В свою очередь, это приведет к усилению приливного торможения под действием Солнца и Луны и, следовательно, к более быстрому постепенному замедлению суточного вращения Земли. Ученые считают, что именно по этой причине сутки на Венере длятся 243 земных суток.

Сложен отлаженный механизм природы, и человеку не подобает бездумно вмешиваться в него.

Но отчего происходит нынешнее накапливание углекислого газа в атмосфере?

Растительный мир нашей планеты поглощает ежедневно колоссальные количества углекислого газа: по подсчетам одних ученых — примерно 175 миллиардов тонн в год¹, по другим данным — даже 230 миллиардов тонн. Поглощает углекислый газ и Мировой океан, его вода содержит гораздо больше углекислого газа, чем атмосфера, — примерно 130 000 миллиардов тонн! Огромные количества углекислого газа из атмосферы поглощаются в результате химических реакций с обнаженными горными породами и почвой. 1 км² почвы поглощает в год примерно 500 т углекислого газа. Не будь поставщиков этого газа в атмосферу, она очень скоро, менее чем за десятки лет, полностью лишилась бы его, что привело бы к гибели сначала растений, а затем и всего живого на Земле.

Мы знаем двух основных старинных поставщиков углекислого газа — это извечные тектонические явления в природе,

¹ Интересно, что большая часть этого количества углекислого газа, более 150 миллиардов тонн, усваивается вовсе не гигантскими деревьями и другими высшими растениями, а флорой моря, главным образом одноклеточными микроскопическими водорослями типа хлореллы. Вот где скрыта основная фабрика фотосинтеза на земном шаре, «перерабатывающая» углекислый газ!

вулканические извержения, а также процессы дыхания, гниения и брожения мира живых существ¹. Уже множество тысячелетий дебет равен кредиту: поступление углекислого газа в атмосферу — его расходу, что является одним из проявлений удивительного механизма саморегулирования атмосферы.

Что же изменилось в последнее время, что испортилось в этом механизме?

Может быть, растительный мир настолько оскудел, а животный, выдыхающий углекислый газ, наоборот, вырос, что именно это нарушило извечное равновесие в природе?.. Что ж, действительно, в ходе развития жизни на Земле эволюция идет, очевидно, именно в этом направлении, но далеко не такими темпами, чтобы уже заметно сказаться на содержании углекислого газа в атмосфере. Да и, кроме того, противоположный эффект оказывает ослабление тектонической деятельности. Тогда в чем же причина?

Виной всему — человек. Не потому, конечно, что он сам стал выдыхать больше углекислого газа. Это «дышат» творения его гения и создания его рук — бесчисленные машины, заводы, электростанции, двигатели. В их чреве ежесекундно сгорают тысячи и тысячи тонн топлива, а основная часть выбрасываемых в атмосферу продуктов сгорания и есть углекислый газ. Именно сюда уходит большая часть всей нефти и угля, добываемых людьми. Только город Берлин, например, выбрасывает в воздух углекислоты в три-четыре раза больше, чем один из крупнейших вулканов Америки — Котонахи.

За последнее столетие промышленные предприятия и автомобили выбросили в атмосферу более 350 миллиардов тонн углекислого газа. Это увеличило его содержание в атмосфере примерно на 13% — вот в чем главный секрет наблюдающегося повышения средней температуры воздуха. Земной шар быстро обзаводится новой атмосферной оболочкой — техносферой².

¹ По образному выражению академика В. И. Вернадского, главным в истории живого вещества является именно то, что оно образуется из газов и после смерти превращается снова в газы. Важнейшим из этих газов и является двуокись углерода — углекислый газ.

² Техносфера характеризуется не только избыточным количеством углекислого газа, но и недостатком... кислорода. Созданная человеком техника поглощает примерно в пятнадцать раз больше кислорода, чем сами люди. Уменьшается и воспроизводство кислорода из-за вырубки лесов. Пока кислородное голодание реально не угрожает человечеству. Но всегда ли так будет? Ведь уже теперь промышленность США потребляет кислорода больше, чем может дать вся растительность страны, — она находится на кислородном иждивении у остальной части человечества.

Даже при современных темпах прогресса науки и техники не позднее чем через сто пятьдесят — двести лет содержание углекислого газа в воздухе достигнет максимально допустимого предела. В действительности, вероятно, это случится еще раньше. Мы видим, что опасения ученых более чем обоснованы. Необдуманное покушение на константу чревато гибельными последствиями...

А ведь углекислый газ в атмосфере — это только один, но далеко не единственный пример такого рода.

По мере того как человек получает все большую власть над природой и его воздействие на нее приобретает поистине глобальный, всепланетный характер, все большей становится и потенциальная опасность такого воздействия. Стоит забыться и потерять должную осторожность, как природа может отомстить человеку за его неосмотрительное покушение на извечные константы — большие и малые, — управляющие ходом жизни на Земле. Человечество может уподобиться в этом случае легкомысленному дровосеку, рубящему сук, на котором сам сидит!

Другая сторона той же проблемы углекислого газа. Мы уже знаем, что увеличение его содержания в атмосфере в результате человеческой деятельности приводит к тому, что Земля теряет все меньше тепла в окружающее космическое пространство. Но не только этим вызвано постепенное потепление земного климата, повышение средней температуры биосферы. Оказывается, наряду с уменьшением расхода тепла Землей приход этого тепла также возрастает, и с этого направления ведется атака на константу, которой является средняя температура атмосферы (вот мы познакомились еще с одной константой).

Легко понять, в чем здесь дело. Когда сгорает топливо, то главным продуктом этого сгорания является, конечно, не углекислый газ, а выделяемая при сгорании теплота. Ведь именно из-за этого и сжигают люди топливо. Но и костер доисторического пещерного жителя, и теплоэлектроцентральный современного города, и любой автомобильный двигатель или паровой котел, помимо своего очевидного назначения, играют еще одну, не столь явную роль. Вот эта-то вторая роль и может сослужить медвежью услугу человечеству. Ибо каждый раз, когда химическая энергия топлива высвобождается и превращается в теплоту, она чуть-чуть повышает среднюю температуру атмосферы. Конечно, именно «чуть-чуть», ничтожно мало, однако такой «подогрев» Земли происходит непрерывно

и во всех ее уголках. Общий подогрев, вызванный полезной деятельностью человека, может оказаться вовсе не таким уж ничтожным.

Правда, пока еще энергия, высвобождаемая человечеством, относительно мала — она значительно меньше двух других основных источников подвода энергии к атмосфере: в десять раз меньше тепла, подводимого из недр земного шара, и в тридцать тысяч раз меньше получаемой Землей солнечной энергии. Однако и теперь уже иной город получает зимой за счет обогрева примерно столько же тепла, как и от Солнца. А ведь темп высвобождения человеком энергии стремительно возрастает. Только с начала нынешнего, XX века человечество, как считают ученые¹, использовало примерно 3/4 общего количества энергии, высвобожденной им за все время своего существования. В последние годы, помимо химической энергии сжигаемого топлива, в тепло стала преобразовываться и покоренная человеком энергия атома. В СССР, например, каждый год количество высвобождаемой энергии возрастает в среднем примерно на 10%. При таких темпах уже через двести — триста лет (по мнению ряда ученых, даже гораздо раньше, примерно через столетие) в результате деятельности человечества будет освобождаться больше энергии, чем шлет ее на Землю Солнце.

Так вырисовывается серьезная угроза будущему человечества, кажущееся непреодолимым препятствие на пути дальнейшего прогресса. Снова дает себя знать неприступность «незаметных» констант.

Вряд ли можно утешаться тем, что до этого препятствия еще далеко: мало ли что может произойти, мол, за оставшиеся двести—триста лет. Два-три столетия — это теперь, конечно, огромный срок, учитывая стремительное развитие науки и техники. Но дело-то в том, что задолго до того, как человечество начнет получать энергию в количестве, сравнимом с энергией, приходящей от Солнца, дальнейший прогресс будет приостановлен. По мнению академика Н. Н. Семенова, это случится уже тогда, когда искусственное энерговыделение достигнет одной десятой энергии, посылаемой на Землю Солнцем. Средняя температура возрастет тогда с 15 до 22°, и эти 7° можно считать предельно допустимыми. Дальше идти нельзя без чрезмерного ухудшения условий жизни на Земле.

¹ Эти данные приведены Экономической комиссией Организации Объединенных Наций.

А ведь, по прогнозам одного из американских ученых, средняя температура повысится на 9° уже через пятьдесят лет!

Так неужели не удастся справиться с «константным барьером»?

Конечно, удастся. Если нельзя строить заводы и электростанции на Земле, то они будут построены... за ее пределами. Как говорил Циолковский: «Земля — колыбель человечества, но нельзя же вечно жить в колыбели». Наука уже начала штурм космоса, и с каждым днем успехи этого штурма множатся. Нет сомнений, что, помимо достижения чисто научных целей, освоение космоса будет иметь и чрезвычайно важное практическое значение для человечества. Может быть, одним из важнейших практических следствий и будет перенесение с Земли в космос все большей части энергоемких производств. Если темпы научно-технического прогресса человечества будут по-прежнему непрерывно возрастать, то, по оценке ряда ученых, через несколько сот лет «космическое» производство превысит земное в тысячи и десятки тысяч раз! Так велит одна из многих «незаметных» констант — средняя температура земной биосферы.

Но вернемся к химическому составу воздуха и содержанию в нем углекислого газа. Если прогресс человечества, сопровождающийся бурным ростом энерговыделения, неизбежно потребует в конце концов перенесения значительной доли производства в космические просторы, то для решения проблемы углекислого газа, вообще-то говоря, нужды в использовании космоса нет. Наука знает способ радикального решения этой проблемы здесь, на Земле, причем решения, которое само по себе будет означать огромный прогресс материальной культуры человечества. Этот способ предложен одним из величайших физиков и гуманистов XX века Фредериком Жолио-Кюри.

Если нельзя уменьшить приход углекислого газа в атмосферу, то нужно помочь растительному миру увеличить его расход. Это не значит, конечно, что придется отводить под сады и леса всё новые пространства. Сады будут цвести — они украшают жизнь, — но драгоценная суша нужна людям для других целей. Да и кроме того, деревья и вообще растения плохие поглотители углекислого газа.

Как известно, углекислый газ усваивается растениями в процессе фотосинтеза, идущем в зернах хлорофилла с поглощением энергии солнечного света. Но, несмотря на миллионы лет эволюции, эффективность процесса фотосинтеза, в общем, невелика. Растения поглощают менее 1% падающего на

их поверхность солнечного света, что определяет и количество усваиваемого углекислого газа. Впрочем, можно думать, что такая эффективность фотосинтеза совсем не случайна. Природа, вероятно, могла бы сделать процесс фотосинтеза гораздо более эффективным, но... зачем? Эволюция растительного мира привела к сохранению равновесия кругооборота веществ в природе. Так выработалась еще одна «незаметная», но крайне важная константа — коэффициент полезного действия (к.п.д.) процесса фотосинтеза.

Однако невольное активное вмешательство человека в естественный ход вещей испортило дело. Возникла необходимость всемерного повышения эффективности фотосинтеза, и вовсе не только в связи с опасным возрастанием содержания углекислого газа в атмосфере. Фотосинтез — основа благосостояния человечества; на нем, по существу, основано все производство разнообразной пищи, поглощаемой людьми.

Нелегко накормить быстро возрастающее население земного шара. Иные «ученые», вроде последователей пресловутого Мальтуса, вообще проповедуют неразрешимость этой задачи и потому рекомендуют ограничить прирост населения. Но наука упорно ищет иного решения этой действительно грандиозной по масштабам, важности и трудности проблемы и найдет.

Жолио-Кюри предложил идею искусственного воспроизведения процесса фотосинтеза. Гигантские промышленные установки высокоэффективного фотосинтеза, осуществляемого вне живых организмов, могут стать истинными кормильцами человечества. Первый важный шаг на предстоящем нелегком пути, может быть, уже сделан учеными, осуществившими недавно синтез хлорофилла, того самого зеленого вещества, в зернах которого идет таинство фотосинтеза. Окончательная победа науки не только обеспечит пищей людей, но и спасет их от избытка углекислого газа в атмосфере.

Интересно, кстати сказать, что наука в своих более отдаленных планах рассматривает возможность «борьбы» с углекислым газом не только здесь, на Земле. Известно, что атмосфера Венеры содержит огромные количества углекислого газа, исключаяющие возможность обычной жизни. По одному из выдвинутых проектов предлагается забросить на Венеру с помощью межпланетных кораблей значительное количество одноклеточных сине-зеленых водорослей, жадных поглотителей углекислого газа. По расчетам, через несколько тысяч лет «воздухом» Венеры уже смогут дышать люди.

Впрочем, недавно один зарубежный ученый шутя, но совершенно безапелляционно заявил, что на Венере есть жизнь и даже живут люди. Основание — в венерианской атмосфере полно всяких вредных веществ, а так отравить воздух могут только люди (об этом у нас еще пойдет речь позже)...

Однако содержание углекислого газа — далеко не единственная важная константа, связанная с тонким химическим составом земной атмосферы. Воздушная оболочка Земли содержит в относительно очень небольших количествах и некоторые другие вещества, часть которых нельзя уменьшить без опасности для всего живого, а другие нельзя увеличить.

Пожалуй, стоит привести только два примера. Один из них касается газа, о наличии которого в воздухе мы обычно даже не догадываемся, хотя он играет крайне важную роль в нашей жизни. Этот газ — озон, близкий родственник кислорода, отличающийся от него только тем, что его молекулы состоят не из двух, как у молекулы кислорода, а из трех атомов кислорода. Озон присутствует в атмосфере главным образом на значительных высотах, порядка 20—40 км. Вблизи Земли он появляется в основном в результате электрических разрядов — именно им объясняется особая «свежесть» воздуха во время гроз. Общее содержание озона так невелико, что, будучи сжатым до нормального атмосферного давления, слой озона имел бы толщину всего 2—3 мм. И тем не менее этот ничтожный слой столь важен, что без него жизнь на Земле была бы, вероятно, невозможна.

В чем же заключается секрет озона? Чтобы ответить на этот вопрос, придется вернуться к разговору о прозрачности земной атмосферы. Помните, как углекислый газ, пропуская коротковолновое солнечное излучение, задерживает длинноволновое тепловое излучение Земли? Так прозрачность атмосферы становится избирательной.

Но, оказывается, чудесные избирательные свойства прозрачной оболочки Земли этим вовсе не исчерпываются. Углекислый газ задерживает электромагнитные волны большой длины (ведь тепловые инфракрасные лучи тоже, конечно, имеют электромагнитную природу), и это крайне важно, как мы теперь знаем, для жизни на Земле. Но не менее важно задержать и наиболее коротковолновое электромагнитное излучение Солнца: это излучение — ультрафиолетовое, невидимое, как и тепловое инфракрасное, — губительно действует на живое вещество. Правда, некоторая часть ультрафиолетовых лучей, с большей длиной волны, даже приносит пользу (именно

она вызывает столь желанный для многих бронзовый загар кожи). Но наиболее коротковолновые ультрафиолетовые лучи, так называемый далекий ультрафиолет, смертельно опасны для живых клеток.

Солнце в избытке шлет и эти лучи на Землю. Но напрасно вы стали бы искать их в спектре солнечных лучей, достигающих земной поверхности. Ученые практически даже не знали об их существовании (хотя, правда, не сомневались, что они есть), пока не сумели с помощью ракет, а потом и спутников вынести свои приборы выше слоя плотной атмосферы. Только там спектр солнечного излучения оказался полным. У земли же весь коротковолновый «хвост» солнечного спектра отсутствует, и причина тому — озон: молекулы озона поглощают коротковолновые ультрафиолетовые лучи. Так слой озона становится невидимым щитом на пути опасного для жизни излучения Солнца.

Но известно, что молекулы озона крайне неустойчивы — они очень быстро распадаются с образованием обычных молекул кислорода. Почему же содержание озона в атмосфере всегда остается практически неизменным и является, таким образом, еще одной важнейшей константой?

Здесь мы снова встречаемся со столь частым в природе замечательным механизмом динамического равновесия и саморегулирования. На больших высотах в атмосфере идут два не прекращающихся ни на минуту и противоположных по характеру процесса. С одной стороны, под действием солнечного излучения непрерывно образуются молекулы озона, а с другой — они так же непрерывно распадаются. Днем верх берет первый процесс, а ночью — второй; в среднем же концентрация озона практически не меняется.

Исчезни озон в атмосфере, и, вероятно, вскоре замерла бы вся жизнь на земном шаре. Ну, а если бы озона стало намного больше? Вероятно, это было бы не так опасно по своим последствиям, хотя также вызвало бы значительные изменения климата на Земле. Да вот еще усложнилась бы задача высотной авиации. Ведь уже теперь в связи с непрерывным увеличением высоты, на которой летают современные самолеты, возникает проблема защиты экипажа и пассажиров от вредного действия озона: при значительной концентрации он является сильным ядом. Если же содержание озона в атмосфере возрастет, то самолеты будут неизбежно летать на все меньших высотах и, значит, все медленнее. Либо вместо обычного кондиционирования воздуха придется снабжать кабины самолетов искусст-

венной атмосферой, то есть такой системой жизнеобеспечения, какую имеют сейчас разве только пилотируемые корабли-спутники и космоланы да подводные лодки. А это совсем не простая задача.

Как видно, озон в атмосфере является действительно хоть и незаметной, но важной константой.

Но если на озон пока никто не покушается, то иначе обстоит дело во втором примере. Вам приходилось слышать слово «смог»? Для жителей многих городов Запада, например Лондона или Лос-Анджелеса, смог — злейший враг. Называют так явление, порожденное самим человеком, — явление такое же искусственное, каким является и само слово «смог», представляющее собой сочетание двух других обычных английских слов: «смоук» — дым и «фог» — туман. Так что уж если переводить буквально, то «смог» — это что-то вроде «дымана», что ли...

Что же такое «смог» и чем он так насолил жителям Лондона и Лос-Анджелеса?

...Эта трагедия произошла поздней осенью 1952 года. Уж кто-кто, а лондонцы приучены к туманам. Однако туман, на четыре долгих ноябрьских дня покрывший тяжелой, непроницаемой серо-коричневой пеленой город, был совсем особым, невиданным. Люди задыхались в его ядовитых испарениях, от него нельзя было никуда спрятаться, он проникал сквозь закрытые ставни окон и запертые двери домов, а на улицу можно было показаться только в масках.

Четыре тысячи жертв за четыре дня смога!.. Поистине грандиозное бедствие, оставившее позади гибель Помпей и Геркуланума почти за 1900 лет до этого: ведь тогда, в августе 79 года н. э., в результате извержения Везувия погибло вдвое меньше людей, жителей обоих навсегда исчезнувших римских городов.

Но отчего таким страшным стал обычно довольно безобидный лондонский туман? Почему подобные же катастрофы происходили в разное время и в других городах США и Западной Европы? Да и в Лондоне описанная выше катастрофа была не единственной: лондонцам запомнились и страшный 1948 год и 1962-й.

Смог образуется при некоторых неблагоприятных метеорологических условиях: густом тумане, низкой температуре воздуха, безветрии. Но главное заключается в том, что к туману примешивается дым, выбрасываемый в воздух из труб теплоэлектроцентралей, заводов и крупных домов, из дви-

гателей автомобилей и мотоциклов¹. Вот тогда-то и получается стойкое, удерживающееся до десяти дней (так было, например, в ноябре 1953 года в Нью-Йорке) удушливое «покрывало». Так что смог не столько результат неблагоприятного стечения обстоятельств, сколько детище вредного воздействия человека на природу. Человек безрассудно засоряет атмосферу — эликсир жизни — вредными веществами, изменяя извечную константу — химический состав воздуха, — и жестоко расплачивается за это.

Интересно, что в Лондоне, на площади Пикадилли, есть киоск, в котором продаются консервы «Лондонский смог» в качестве замечательного... откашливающего средства! Инструкция на этикетке рекомендует тщательно закрыть окна и двери в комнате и только потом вскрыть банку — ее содержимое хорошо знакомо лондонцам, это жирный, желтый туман (кто-то однажды сострил: «Смог — это воздух, видимый невооруженным глазом»), действительно вызывающий безудержный кашель. Впрочем, второй пункт инструкции рекомендует вообще банку не вскрывать...

Если через легкие человека в час проходит примерно кубометр воздуха², то за тот же час лишь одна мощная теплоэлектроцентраль выбрасывает в атмосферу десятки тонн золы и сернистого газа. Не удивительно, что в больших городах естественная ультрафиолетовая радиация ослабляется иной раз более чем вдвое, а ведь она нужна вовсе не для одного лишь загара: она убивает, как известно, болезнетворные микробы.

Что получается, когда не проявляют должной заботы о чистоте воздуха, видно хотя бы на примере Лос-Анджелеса. Каждый день заводы этого города, имеющего восьмимиллион-

¹ По официальным данным, на каждый квадратный километр территории Нью-Йорка дымящие трубы (в том числе 12 тысяч мусоросжигательных станций) выбрасывают 40 т копоти в месяц. Иногда же на город ежедневно оседает до 25 000 т копоти и вредоносной пыли! Обследование загрязненности воздуха в 1966 году привело ученых к выводу, что дышать чистым воздухом в Нью-Йорке можно, лишь находясь на вертолете на высоте 700 м! Мэр города Линдсей в 1970 году запретил сжигание мусора и думал о полном запрещении автомобильного движения в центре города. По радио часто просят жителей не выходить на улицу из-за смога...

² Попадая в легкие, воздух проникает в разветвленную сеть многочисленных микроскопических пузырьков — альвеол, общая поверхность которых достигает 100 м². Через эту поверхность и происходит всасывание кислорода в кровь и выделение из нее углекислого газа. Но через нее же поступают в кровь и вредные вещества, находящиеся в воздухе в виде взвеси, то есть в форме так называемых аэрозолей.

ное население, вместе с почти четырьмя миллионами бегающих по его улицам автомобилей выбрасывают в атмосферу более 4000 т различных вредных веществ — сернистого газа, окислов азота, угарного газа (окиси углерода), углеводородных соединений. Некоторые вещества — сильные яды и в очень небольших концентрациях: в одну тысячную и даже десяти тысячную долю процента. А ведь в каждом кубическом метре смога содержится до десяти миллиардов одних только твердых дымовых частиц!¹

Не удивительно, что в городах с частым смогом смертность жителей, не считая даже катастроф вроде лондонской, намного выше средней. За последние четверть века, например, рак легких унес в городах США в десять раз больше жизней, чем за такой же срок раньше. За полвека смертность по этой же причине в отравленных смогом городах Англии возросла в сорок раз. Вот она, расплата за пренебрежение «незаметными» природными константами!

Понятно, почему Всемирная Организация Здравоохранения считает загрязнение воздуха одной из наиболее серьезных опасностей для здоровья современного населения земного шара, а для крупных городов — даже главной опасностью². По мнению ряда зарубежных ученых, города вроде Лос-Анджелеса столь же смертоносны, как атомная бомба, с той лишь разницей, что они убивают людей медленнее.

Как много при желании можно достичь в борьбе с этой опасностью, показывает хотя бы пример нашей страны и ее столицы. У нас впервые в мире законом утверждены санитар-

¹ Вредное воздействие смога в Лос-Анджелесе почувствовали на себе и советские спортсмены во время очередного «матча гигантов» — легкоатлетических соревнований США и СССР в июле 1964 года. Во время бега они просто задыхались. Американская печать пишет, что если положение в Лос-Анджелесе не будет решительно улучшено, то вскоре его жители должны будут разгуливать по городу в противогазах. Один из американских ученых заявил о Лос-Анджелесе, что это «единственный город в мире, в котором можно, проснувшись утром, слышать, как птицы... кашляют». Многие растения в отравленной атмосфере Лос-Анджелеса вообще не растут. Не удивительно, что недавно в центре города высажены... искусственные цветы и деревья! В зоопарках Нью-Йорка и некоторых других городов США из-за отравления атмосферным воздухом гибнут животные — львы, леопарды, тигры.

² Вероятно, не так уж далеки от реальности американские писатели Ф. Поол и С. Корнблат, описывающие в своем научно-фантастическом романе «Торговцы космосом» (изд-во «Мир», 1965) будущее США через 100—150 лет со страшными городами, лишенными воздуха, полными копти и ядовитых газов.

ные нормы предельно допустимого содержания вредных веществ в воздухе, создан специальный комитет по охране атмосферного воздуха с обширной сетью станций наблюдения.

Москва — один из крупнейших промышленных центров мира, с большим количеством заводов, фабрик, ТЭЦ, автомобилей. Однако благодаря заботе о здоровье населения московский воздух не только не загрязняется, но за последние пятнадцать — двадцать лет он стал в пять-шесть раз чище. Москвичи могут этим заслуженно гордиться: такого нигде в мире пока не было. Но они не успокаиваются, стремясь сделать воздух, которым дышат, еще чище и лучше. За чистотой воздуха в Москве следят двадцать пять постов Государственного санитарного надзора, ежегодно они берут более 30 000 проб воздуха для определения загрязненности.

Из столицы удаляются вредные производства, котельные переводятся на газ, строятся транспортные туннели и подземные переходы (один только туннель на площади Маяковского снизил содержание окиси углерода в воздухе в четыре раза — вот что значит не мешать движению автомобилей!).

Москва показывает пример городам мира, ему следуют и в других странах. В 1965 году в Польше тоже создано Бюро по охране воздуха. Там, где заботятся о людях, заботятся о воздухе...

А вот в Токио, занимающем одно из малочетных первых мест в мире по загрязненности воздуха и постоянно окутанном смогом (одних заводских труб в городе 75 000!), недавно на улицах установлены автоматы для продажи... кислорода. Бросай монету в 10 иен и вдыхай. Хочешь вдохнуть еще раз — бросай снова монету. Нет монеты — дыши как знаешь¹. В токийских магазинах можно купить и «консервированный» чистый воздух, взятый, как утверждает надпись на банке, с вершины горы Фудзи, самой высокой в Японии. Полицией, регулирующей движение на улицах японской столицы, выдают бесплатно... кислородные маски. Впрочем, и в Нью-Йорке можно увидеть на улицах людей в таких масках. Испытываются различные «антисмоговые» маски в Англии, даже стали продавать «расфасованный» кислород в пластиковых мешочках для шоферов. В общем, тоже забота, конечно...

¹ Даже по официальной статистике загрязнением воздуха объясняется 20% всех смертных случаев в Токио. Так, в июле 1970 года из-за смога в токийские больницы попало 8 тысяч человек, а за один день 28 июля 1971 года по той же причине пострадало 11 020 человек. А всего в 1971 году — 28 тысяч человек...

Дышать на улицах западных городов становится все труднее. И можно лишь удивляться неистощимому оптимизму людей, находящих в себе силы еще шутить по этому горькому поводу.

Недавно в городе Павия, на севере Италии, появились афиши со следующим шуточным объявлением: «В нашем городе и его ближайших окрестностях запрещено дышать как местным жителям, так и приезжим из-за чрезвычайного загрязнения воздуха. Нарушителям угрожает штраф».

Смех сквозь слезы звучит и в следующем любопытном сообщении зарубежной печати. Во время забастовки английских горняков в 1972 году в Лондоне была прекращена подача электроэнергии, и город погрузился во тьму. Ночью ветер разогнал смог, постоянно висящий над городом. На следующий день один из читателей газеты «Дейли Экспресс» сообщил в редакцию, что ему удалось обнаружить «странные светящиеся объекты». Он спрашивал в своем письме, не наблюдались ли они Гринвичской обсерваторией. Редакция опубликовала на страницах газеты такой ответ этому читателю: «Уважаемый мистер! Вам на редкость повезло, Вы наблюдали небесные светила, невидимые для лондонцев из-за смога и уличного освещения и именуемые обычно звездами».

Скорее страшно, чем смешно...

Смог вреден не только для людей, но и для сооружений и машин. Оказывается, ядовитые свойства смога проявляются и в том, что он во много раз увеличивает коррозию металлических деталей, разрушение резины, разъедание красок, износ различных механизмов. Так, например, по подсчетам одного английского специалиста, опубликованным во французском журнале «Сьянс э ви», за два дня господства смога в Англии в 1958 году он принес убытки в 50 миллионов фунтов стерлингов (или примерно 125 миллионов рублей) из-за ржавления металлов и износа машин; правда, сюда включены и убытки, связанные с простоями транспорта и т. п.

Коррозионное действие загрязненного воздуха только в одном Сан-Франциско приносит убытки в 5 миллионов долларов в год. В среднем каждому американцу смог обходится более ста долларов в год, в одном лишь 1967 году прямой материальный ущерб США из-за загрязнения воздуха, по далеко не полным расчетам, определен в десятки миллиардов долларов. Так что «индустриальный туман» губителен для самой же индустрии да и для сельского хозяйства тоже.

Развитие техники в последние годы приводит к тому, что

«индустриальное» загрязнение атмосферы распространяется на все большие высоты. Ведь каждый взлет мощной баллистической или космической ракеты приводит к тому, что в атмосферу выбрасываются сотни и тысячи тонн газообразных продуктов сгорания — главным образом водяных паров и углекислого газа, а также многих других веществ, в том числе и твердых. Конечно, пока мощные ракеты взлетают сравнительно редко, и общая масса их выхлопных газов ничтожно мала, если отнести ее к массе всей атмосферы. Но сразу же возникает сомнение: а можно ли так относить? Ведь эти газы выбрасываются в значительной части на таких больших высотах, где атмосфера уже сильно разрежена и ее масса очень мала. Там, на этих высотах, доля ракетных газов в массе атмосферы может оказаться весьма существенной, в особенности по мере дальнейшего развития ракетной техники и космонавтики (по существу, уже сейчас, вероятно, поздно пытаться изучать первоначальное, естественное состояние верхней атмосферы). А между тем роль именно этих верхних слоев атмосферы в механизме ее теплового саморегулирования и в общих процессах циркуляции атмосферы исключительно велика.

Следует учитывать и то, что огненный факел ракеты образует в земной ионосфере своеобразную «дыру» — примерно на один час плотность электронов в этом месте уменьшается в два-три раза. А ведь мы не упомянули еще о сотнях сверхзвуковых транспортных самолетов, которые будут вскоре совершать полеты на больших высотах, выше 20 км, — они тоже начнут выбрасывать в верхние слои атмосферы ежедневно десятки и сотни тысяч тонн продуктов сгорания топлива.

Не удивительно, что все чаще раздаются голоса ученых, обеспокоенных этим бесцеремонным вмешательством ракет в атмосферную «кухню погоды». Правда, другие ученые не без основания указывают на то, что природа запасла для атмосферы не только механизм теплового саморегулирования, но и другие «спасительные» механизмы, в том числе и для быстрой очистки верхней атмосферы от различных загрязнений. Так что пока серьезных оснований для тревоги в этом отношении нет, хотя тщательно следить за атмосферными процессами необходимо еще и по этой причине.

Знакомство с семейством незаметных на первый взгляд, но в действительности столь важных физических констант мы на этом, пожалуй, и закончим. Конечно, рассказ о них можно было бы продолжить. Много интересного и неожиданного таят

в себе и другие постоянные из этого семейства. Но о какой бы из таких констант ни шла речь, все равно беспрепятственно и бездумно покушаться на ее величину нельзя. Мы уже убедились, что это непреложный закон. Ибо мы «привыкли» к этим константам, вся жизнь на Земле «подогнана» под их определенные значения, построена на них, как на фундаменте. Разве можно разрушать фундамент?

Однако нас ждет впереди знакомство с постоянными совсем иного рода. Как ни важны уже знакомые нам константы, эти новые неизмеримо важнее. До сих пор речь шла о знакомых незнакомцах. Хотя эти константы и открылись нам своими новыми гранями, но их никак нельзя назвать неизвестными или непонятными. Константы же, о которых теперь пойдет речь, поражают именно своей таинственностью. Это загадочные константы-сфинксы.



часть
вторая



КОНСТАНТЫ- СФИНКСЫ

ЭТА ЧАСТЬ ПОСВЯЩЕНА КОНСТАНТАМ, МНОГИЕ ТАЙНЫ КОТОРЫХ ЕЩЕ ДАЛЕКО НЕ ДО КОНЦА РАСКРЫТЫ НАУКОЙ, ХОТЯ ОНИ ЛЕЖАТ В ОСНОВЕ ОКРУЖАЮЩЕГО НАС МИРА, ЯВЛЯЮТСЯ ИСТИННЫМИ «КИТАМИ», НА КОТОРЫХ ЗИЖДЕТСЯ ВСЕЛЕННАЯ.



6

ИДЕАЛЬНАЯ МАТЕРИЯ



ВКУСЕН ЛИ ВОЗДУХ! ■ ЗАГАДКА ВЕЩЕСТВА ■ ШАГ В МИКРОМИР ■ ПЕРВОЗДАННЫЙ ХАОС ■ ЧЕМ МЕНЬШЕ ПОРЯДКА, ТЕМ ЛУЧШЕ ■ ИДЕАЛЬНЫЙ ГАЗ — МЕЧТА ФИЗИКА ■ ОТ ЧАСТИЦЫ — К АНСАМБЛЮ ■ ПЕРВАЯ ИЗ КОНСТАНТ-СФИНКСОВ ■ ГИГАНТСКАЯ МОЛЕКУЛА ■ ЧТО ТАКОЕ АБСОЛЮТНЫЙ НУЛЬ ■ КАК ПЕРЕСЧИТАЛИ НЕВИДИМЫЕ МОЛЕКУЛЫ ■ ШЕСТЕРКА С 23 НУЛЯМИ ■ НА ГЛУБИНЕ 100 МЕТРОВ И НА ВЫСОТЕ 10 КИЛОМЕТРОВ ■ В ЖИДКОМ ВОЗДУХЕ И В ТОПКЕ КОТЛА ■ КОНСТАНТЫ «ИНЬЕ», А МИР ТОТ ЖЕ ■

В двух последних главах первой части нашей книги — один и тот же герой: окружающий нас воздух. Ну что ж, этот герой заслуживает всяческого уважения — вряд ли что другое имеет такое большое значение для всего сущего на Земле и столь хорошо известно людям!

Но так ли уж много в самом деле мы знаем о воздухе?

Наши органы чувств дают не слишком обширные сведения о нем. Видеть воздух мы не можем — он прозрачен; нам остается лишь свидетельствовать, что воздух нечист, когда в нем есть видимые примеси. Мы ощущаем движение воздуха — то нежное, то стремительное и грозное при урагане. Довольно точно мы судим о температуре воздуха — «прохладно», «морозно»... Воздух непахуч, и обоняем мы лишь присутствующие в нем посторонние запахи. Вкуса воздух тоже не имеет.

Увы, кажется, это все.

Да, вот разве еще звук... Не зря же, в самом деле, мы посвятили его тайнам целую главу! Воздух и сам способен звучать, и хорошо распространяет звук, скорость которого, как мы теперь знаем, есть весьма важная физическая константа.

Когда мы привлекаем на помощь нашим несовершенным чувствам различные приборы, созданные учеными, то диапазон сведений о воздухе быстро расширяется, а сами сведения становятся более точными и достоверными. Мы узнаем, каков химический состав воздуха (тоже важная константа), каковы его давление и температура, какова скорость движения, с какой скоростью распространяется в воздухе звук, и т. п.

Наконец, мы можем с помощью различных используемых учеными хитроумных средств сделать видимым невидимое, можем наблюдать, как именно движется прозрачный воздух, какие явления (иной раз сверхсложные) сопровождают его движение. Можем, если угодно, сфотографировать все эти явления. Ведь без подобных исследований нельзя построить самолет, заставить эффективно работать компрессор или турбину, создать скоростную автомашину или железнодорожный локомотив, раскрыть тайну полета птиц или насекомых, защититься от страшных последствий урагана. Да всего и не перечеистишь...

Разумеется, все эти сведения не только очень интересны и любопытны сами по себе, но и крайне важны для многих отраслей науки и техники да и для повседневной жизни тоже. Но ограничится ли ими пытливый ум? Разве они исчерпывают весь арсенал научных знаний о воздухе? Ведь существуют же общие физические законы о поведении воздуха да и других

газов. Эти законы общеизвестны (их и в школе изучают); например, закон, носящий фамилии английского физика Бойля и французского физика Мариотта, или же закон, названный по имени французского физика Гей-Люссака.

Действительно, этим ученым (как и французскому физiku Шарлю) удалось путем опытов установить, что давление и температура, температура и объем, а также давление и объем какой-нибудь массы, например 1 кг воздуха или другого газа, взаимно связаны друг с другом. Изменишь одно (как говорят ученые, один параметр) — обязательно изменится и другое.

Если, например, воздух в каком-нибудь герметическом сосуде нагреть, то его давление обязательно повысится: температура возрастет вдвое — и давление тоже вдвое. Причем, может быть, самое существенное здесь заключается именно в том, что такие изменения оказываются одинаковыми для всех газов. Эти законы походя как бы развенчивают «божественный» воздух, низводя его до уровня равного среди равных, одного из большого числа известных человеку газов; да, впрочем, ведь и сам-то воздух, как мы знаем, есть всего только смесь разных газов.

Но мы вовсе не имели в виду просто напомнить читателю известные еще по школе газовые законы. Конечно, эти законы во многом расширяют наши знания о воздухе, но разве только в этом их значение? Не заставляют ли они задуматься над какими-то другими, пока еще скрытыми от нашего знания фундаментальными природными закономерностями?

На самом деле опыт показывает, как связаны между собой, например, давление и температура воздуха, но может ли он объяснить, почему именно так, а не иначе? Опыт свидетельствует: найденные законы действительны для всех газов, а не только для воздуха, но он не в состоянии дать ответ на вопрос о том, чем объясняется эта универсальность закона. Очевидно, одних экспериментов для ответа на подобные вопросы мало. Ставя всё новые опыты, можно открыть еще многие другие законы для воздуха и газов; они в действительности уже открыты наукой. Но опыты не дадут объяснения, почему найденные законы существуют. Очевидно, недостаточно правильно описать поведение газа — нужно раскрыть какие-то внутренние причины, диктующие это поведение.

Так мы подходим к необходимости перейти от вопроса, как ведет себя газ, к другому, гораздо более сложному и трудному вопросу: почему он себя так ведет? Что же такое в конце концов представляет собой газ? Очевидно, без ответа на послед-

ний вопрос нельзя надеяться раскрыть и внутренний механизм, определяющий все поведение газа.

Разумеется, поставленный нами вопрос возник перед наукой не сейчас. Как известно, загадка строения вещества не давала покоя ученым и далекого прошлого. Именно тогда, в период расцвета древних культур Греции, Рима, Индии, появились первые, интуитивные представления о том, что вещество состоит из мельчайших частичек — атомов («атом» — по-гречески «неделимый»). Так учили почти два с половиной тысячелетия назад древнегреческие философы Демокрит и Лейкипп, Эпикур и Лукреций и другие мыслители.

Конечно, тогда это было не более чем простой догадкой — у науки еще не было да и не могло быть фактов, подтверждающих атомистические воззрения. Первые доказательства такого рода появились всего примерно полтора столетия назад. Теперь уже существование атомов и молекул, из которых состоит вся окружающая нас Вселенная, не вызывает ни у кого сомнений. Только оно в состоянии объяснить великое множество разнообразных экспериментально установленных зависимостей, связей, закономерностей, фактов. Мало того, в последнее время уже удалось увидеть отдельные, наиболее крупные молекулы на экране электронного микропроектора и даже отдельные атомы в кристаллической решетке с помощью так называемого ионного микроскопа¹.

Не следует думать, однако, что победа атомистической теории была легкой и бескровной, что первые же доказательства в пользу этой теории убедили всех колеблющихся и сомневающихся. Вовсе нет. Атомистическая теория завоевывала себе право на существование в упорной борьбе с теми учеными, кто принципиально отвергал любую возможность какого-либо объяснения наблюдаемых свойств вещества при помощи каких-то там невидимых атомов.

Физики и философы, составлявшие весьма многочисленную и влиятельную школу, которая сложилась к концу прошлого века, категорически утверждали, что изучать можно толь-

¹ Нужно помнить, конечно, что непосредственно атом увидеть нельзя — ведь его размеры (порядка 10^{-8} см) в несколько тысяч раз меньше длины волн видимого света, что не позволяет разглядеть атом с помощью микроскопа. Лучи света не в состоянии передать очертания атома — он для этого слишком мал. Приходится пользоваться обходными путями. Так, например, недавно удалось с помощью электронного микроскопа с увеличением в семь миллиардов раз получить фотографию кристалла золота, на которой видны контуры атомов — всего их на снимке оказалось 43 000.

ко непосредственно ощущаемые нашими органами чувств предметы внешнего мира. Руководители этой школы — Мах, Оствальд и другие — обрушились на тех ученых, кто пытался с помощью атомистических представлений проникнуть во внутренних механизм наблюдаемых явлений. Уже в начале нашего века один из корифеев этой школы, Вильгельм Оствальд, заявил в своей лекции, что «атомистической теории следовало бы уже давно истлеть в пыли библиотек».

Не удивительно, что против тех, кто отстаивал принципиальную непознаваемость законов природы, гневно выступил великий революционер и гениальный ученый Владимир Ильич Ленин. В своей бессмертной книге «Материализм и эмпириокритицизм», написанной в 1908 году, он подверг поистине уничтожающей критике взгляды этих горе-философов, показал всю их реакционность. Книга Владимира Ильича воодушевила сторонников атомистической теории, которые упорно стремились обнаружить бесспорные доказательства реальности существования атомов.

Чтобы объяснить установленные на опыте законы, управляющие поведением газов, очевидно, и нам нужно сделать решительный шаг из макромира — мира больших масс вещества в микромир — невидимый мир атомов и молекул. Это только первый шаг на том увлекательном пути в глубь вещества, на который мы сейчас вступаем.

Именно на этом пути нам и встретятся загадочные константы-сфинксы. Нас ждет много необычного и неожиданного, непривычного для макромира, для повседневной жизненной практики людей. И чем глубже будем проникать в микромир, тем более «странным» он покажется, тем больше будет неожиданностей.

Если мы не хотим играть роль нового Гулливера в этом мире крохотных частиц вещества и решим не выделяться среди них по величине, то нам придется уменьшиться в размерах всего лишь в какие-нибудь... десятки миллиардов раз!

И вот уже наш рост равен стомиллионным долям сантиметра. Куда там мужичок с ноготок или мальчик с пальчик! Это невероятные гиганты в нашем микромире.

Но куда мы попали? Какой невообразимый хаос царит вокруг! Во всех направлениях стремительно мчатся молекулы разных размеров и форм. Ну, это разнообразие, пожалуй, понять можно, ведь воздух состоит из разных газов. Действительно, молекул одного «фасона» очень много, вероятно, это азот, других — поменьше, надо думать, кислородных, а неко-

которые встречаются гораздо реже: очевидно, это молекулы разных примесей. Скорости движения молекул тоже сильно разнятся: большая их часть движется примерно с одинаковой скоростью, но некоторые мчатся гораздо быстрее, есть и более медленные.

Поскольку никаких регулировщиков движения в микромире нет, то, разумеется, неизбежны многочисленные столкновения, не то что в туче мошкеры, где столкновения никогда не происходят. И действительно, мы видим, как то здесь, то там прямолинейно мчащиеся молекулы бесшумно сталкиваются. Однако при этом, в отличие от столкнувшихся автомобилей, с ними ничего не происходит, хотя скорости движения молекул во много раз больше даже рекордных для автомобилей — они достигают сотен метров в секунду!

Вот, например, две стремительные молекулы столкнулись, как говорят, прямо в лоб, на мгновение они как бы застыли неподвижно в момент столкновения, а затем разлетелись снова и как ни в чем не бывало помчались назад. Вон две другие молекулы стукнулись слегка бочком друг о друга и полетели дальше, чуть изменив направление прежнего движения. Хорошо, что мы с вами только мысленно очутились в этом всеобщем бедламе, иначе нам не поздоровилось бы — ведь мы-то не молекулы, для нас подобные бесчисленные столкновения кончились бы прискорбно. Понятно, почему молекулы не остаются в покое: какая уж тут неподвижность, когда со всех сторон толкают!

Но давайте наблюдать дальше. Хотя все пространство вокруг кишмя кишит стремительными молекулами, надо признать, что, в общем, здесь даже довольно свободно: в среднем одна молекула от другой находится на расстоянии примерно в десять раз больше, чем собственные размеры молекул. Например, как если бы в троллейбусе было всего два, от силы три пассажира. Не густо, не правда ли?

Не удивительно, что, хотя молекулы ни на минуту не успокаиваются и постоянно движутся во всех направлениях, столкновения между ними происходят далеко не на каждом шагу. От одного столкновения до другого молекула в среднем успевает пролететь довольно большой путь, пока не наткнется на какую-нибудь соседку; этот путь примерно в тысячу раз больше размеров самих молекул. Будь мы с вами в нашем обычном макром мире, это значило бы, что от столкновения до столкновения мы свободно пробегали бы по прямой примерно с километр. Конечно, в действительности этот пробег молекул

между столкновениями (его так и называют ученые — свободным пробегом) неизмеримо меньше, всего тысячные доли миллиметра, но ведь и молекулы-то намного меньше нас.

Зато во времени столкновения каждой молекулы повторяются очень часто; по существу, это сплошная цепь столкновений, ударов и толчков. Да и в самом деле, сколько времени нужно молекуле, мчащейся со скоростью в сотни метров в секунду, чтобы пробежать эти самые микроны, отделяющие ее от очередного столкновения? Какие-то миллиардные доли секунды! За секунду — миллиарды ударов каждой молекулы.

Если присмотреться к мчащимся мимо нас молекулам, то можно заметить, что они не просто мчатся: многие из них вращаются в полете, то быстрее, то медленнее, а иные, кроме того, вибрируют при этом, то сжимаясь, то разжимаясь.

А вон взгляните на какую-то уходящую вдаль безграничную твердую поверхность. Да это просто стена той комнаты, в которой мы находимся! Видите, на ней бесчисленное множество молекул воздуха? Ну прямо ни одного свободного местечка нет. Оказывается, эти молекулы вовсе не приклеились к стенке — то одна, то другая срывается с нее и улетает прочь. Ее место сейчас же занимает другая молекула: глядите, ударились, повисела мгновение и умчалась.

Как же разобраться во всем этом хаосе мятущихся молекул газа? Задача поистине непосильная. Хаос и есть хаос¹, где уж тут искать «внутренние пружины», «скрытые закономерности» и «загадочные константы»!..

В твердом теле, к примеру, куда больший порядок, а в кристалле так вообще атомы расположены идеально правильно, симметрично, и только чуть-чуть колеблются относительно этих своих положений. Но разве твердое тело легче изучать? Куда сложнее! Ибо там на первый план выдвигаются силы взаимодействия между атомами, действующие на расстоянии, — эти силы имеют электромагнитную природу. Сказываются силы межатомного (и межмолекулярного) взаимодействия и в жидкости. И только в газе их почти нет; оттого-то так беспорядочно, хаотически движутся молекулы и атомы газа. Значит, хаос — первый признак того, что силы взаимодействия отсутствуют или они очень слабы. А это огромная

¹ Собственно, термин «газ», введенный в науку голландским алхимиком Яном Бельмонтом в XVII веке, и есть, вероятно, искаженное греческое слово «хаос». Правда, есть и другое мнение, именно: что термин «газ» связан с тончайшей шелковой материей того же названия, изготовлявшейся мастерами сирийского города Газы.

удача для исследователя, ибо движение под действием таких сил обычно не удастся изучить детально, а значит, не удастся получить и полного представления о поведении вещества.

Так хаос превращается из врага в союзника ученого, изучающего газ. И если ему приходится все же сожалеть, то прежде всего о том, что силы межатомного или межмолекулярного взаимодействия сказываются и тут — они отсутствуют не полностью. Помните, мы с вами видели, как молекулы и атомы газа как бы замирали на мгновение при столкновении друг с другом или со стенкой? Это проявляются силы взаимодействия, особенно ощутимые на малых расстояниях, то есть в случае столкновения. Приглядишься мы внимательнее — могли бы заметить, что не только столкнувшиеся, но даже и просто тесно сблизившиеся в момент пролета молекулы уже несколько изменяют направление и скорость движения.

Если эти силы в газе проявляются слабо, то только потому, что расстояния между частицами газа (молекулами и атомами) в среднем велики, намного больше собственных размеров частиц. Стоит этим расстояниям уменьшиться, как сразу же взаимодействие станет сильнее, потом еще сильнее, а потом... Потом газ перестанет быть газом и превратится в жидкость или в твердое тело, только и всего. Как это часто бывает в природе, количество перейдет в качество: при сокращении расстояний между частицами будет преодолен некий критический предел и межмолекулярные силы скачком изменят состояние вещества — газ сконденсируется. Средние расстояния между атомами в твердом веществе близки величине самих атомов, то есть они примерно на порядок (в десять раз) меньше, чем в газе. Это и оказывается решающим.

Правда, дело здесь не только в расстояниях между частицами. Большую роль играет энергия движения частиц. Ну, это тоже понятно: если, например, бильярдный или кегельный шар пущен сильным ударом, то какая-нибудь соринка или крохотная неровность на пути не изменят заметно его движения, но если шар еле двинется, все может произойти иначе. Точно так же слабая сила межмолекулярного взаимодействия практически не скажется, если сами молекулы обладают значительной кинетической энергией, мчатся с большой скоростью, но если эта скорость мала, то действие даже слабой силы может оказаться весьма ощутимым. Вот почему, чтобы сконденсировать газ, его нужно охладить; при этом частицы газа замедляют свое движение, их энергия уменьшается и действие межмолекулярных сил взаимодействия усиливается.

В большинстве так называемых постоянных газов (то есть газов, сохраняющих свое газообразное состояние в широком диапазоне обычно встречающихся температур и давлений), в том числе и в воздухе, межмолекулярные силы проявляются столь слабо, что обычно их действием можно пренебречь и считать, к пущей радости физика, что эти силы отсутствуют вовсе. Разве удивительно, что такие газы у физиков принято называть идеальными?

Правда, в идеальной газе приходится пренебрегать и еще одним обстоятельством, именно — собственными размерами частиц, то есть считать молекулы и атомы своеобразными вещественными «точками», не имеющими размеров. Сделать это допущение можно без большой погрешности — вспомните, насколько меньше молекулы, чем расстояния между ними. Зато задачу физика, изучающего газ, это упрощает существенно.

Разумеется, законы, полученные для идеального газа, не будут соблюдаться в точности в случае газов реальных, существующих в действительности. Отклонения от «идеальности», обычно не столь большие, имеют весьма принципиальный характер. С одной стороны, они отражают самую суть проблем, возникающих перед естествоиспытателем, стремящимся проникнуть в тайны природы, а с другой — характеризуют главный метод такого проникновения. В самом деле, идеализация любого природного явления, введение различных допущений и упрощений необходимы ученому, чтобы выявить главные закономерности и отвлечься от частных. Однако затем, когда такие «идеализированные» законы уже получены, только тщательный анализ тех самых «второстепенных» отношений, которыми вначале пренебрег ученый, позволяет ему глубже проникнуть в тайны природы. Сколько раз в истории науки именно эти на первый взгляд совершенно ничтожные по величине неточности законов, казавшихся ученым фундаментальными, приводили к открытию новых законов, еще более фундаментальных и лучше описывающих истинную природу!

Но вернемся к нашей «идеальной материи» — к совершенному газу. Пусть мы сделали все возможные упрощения и допущения. Как все же после этого разглядеть в мириадах хаотически движущихся микроскопических частиц газа общие физические законы, управляющие его «макроповедением»?

Если бы мы поступили в этом случае так же, как поступают ученые при изучении движения любых тел в нашем обычном макромире, то есть следя за каждым телом в отдельности и составляя для него уравнение движения (сколько тел, столько

уравнений), то, конечно, ничего не добились бы. В каждом кубическом сантиметре газа при обычных условиях содержится практически несчетное количество молекул, примерно 30 миллиардов миллиардов. Представляете себе сизифов труд по составлению и решению этих уравнений, пусть даже с помощью электронного «мозга»? А ведь иначе нельзя предсказать все возможные столкновения частиц и их последствия, то есть, очевидно, нельзя предсказать и поведение газа.

К счастью, нужды в решении миллиардов уравнений нет. Физика создала могучее средство исследования микромира с его бесчисленным множеством безликих героев. Этим средством стали статистические методы, когда выводы делаются не о каждой микрочастице в отдельности, а обо всех вместе, обо всем, как говорят ученые, ансамбле частиц. Методы статистической физики¹ не позволяют судить о судьбе каждой частицы, каждой молекулы или атома, но эта судьба становится глубоко безразличной для науки. Зато именно потому, что частиц огромное число, оказывается возможным делать важнейшие выводы о поведении всех частиц в среднем. И именно такое поведение интересует нас в данном случае, ибо оно представляет собой поведение макроколичеств, то есть больших масс газа.

Из всех полученных статистическими методами физических выводов наиболее важным является, пожалуй, один. Этот вывод имеет особое значение, ибо он касается всех газов (и даже не только газов) и является, следовательно, универсальным, а также потому, что приводит к ряду следствий, имеющих большое теоретическое и практическое значение. Нас же этот вывод интересует особенно, поскольку с ним связано введение в физику одной из важнейших констант, характеризующих вещество вообще,— константы, являющейся героем этой главы.

Эта первая из фундаментальных физических констант с полным правом может считаться именно константой-сфинксом, константой-загадкой. В повседневной жизни мы не встречаемся ни с этой, ни с другими подобными константами. Поэтому обычно мы и не догадываемся об их существовании, хотя именно они незаметно и скрытно управляют многими явлениями в нашей жизни.

¹ В данном случае обычно говорят о статистической механике, разработка которой представляет собой одно из выдающихся научных достижений физиков XIX столетия — Клаузиуса, Максвелла, Больцмана и многих других.

Эта константа названа по фамилии известного австрийского физика Людвиг Больцмана (1844—1906), сделавшего большой вклад в развитие молекулярно-кинетической теории вещества и других смежных областей физики. Константа (или постоянная) Больцмана (она обозначается обычно латинской буквой « K ») устанавливает, насколько изменяется средняя кинетическая энергия хаотического движения молекулы любого газа при изменении его температуры на 1° . Поэтому и измеряется эта постоянная в единицах энергии, эргах, отнесенных к градусу (то есть единице температуры). Величина постоянной Больцмана, принятая современной физикой, $K = 1,38 \cdot 10^{-16}$ эрг/град¹. Ничтожная величина, ничего не скажешь, но ведь и молекула имеет ничтожно малые размеры.

Итак, мы теперь знаем, что представляет собой постоянная Больцмана, но, пожалуй, пока еще не ощущаем в должной мере всей ее «фундаментальности». Между тем легко видеть, что с помощью этой постоянной удастся установить простую связь между кинетической энергией E хаотического поступательного движения молекул газа и его температурой T . Действительно, судя по определению постоянной Больцмана K , энергия движения молекул $E = \frac{3}{2} KT$.

Это выражение и представляет собой тот важнейший научный вывод, о котором мы уже говорили: оно раскрывает физический смысл понятия температуры. А нужно ли говорить, какую роль играет это понятие в природе? Между тем объяснить, что же такое температура, вовсе не так просто, хотя мы každодневно говорим о ней.

Наша новая знакомая — постоянная Больцмана — позволяет дать точный ответ на этот вопрос. Очевидно, температура газа есть не что иное, как мера интенсивности хаотического движения молекул газа. Такое движение называют обычно тепловым: тепловая энергия и есть энергия движения молекул. Еще точнее: температура — это мера средней кинетической энергии теплового движения молекул.

Мы уже знаем, что в действительности скорости молекул газа различны, поэтому различна и кинетическая энергия молекул. Но средняя величина этой энергии и определяет темпе-

¹ Точнее говоря, численно постоянная Больцмана равна не полному изменению кинетической энергии молекулы, а лишь $\frac{2}{3}$ этого изменения. Эта условность введена для того, чтобы в производных формулах, в которые входит постоянная Больцмана, избежать появления дробных членов.

ратуру газа ¹, причем чрезвычайно важно то, что при одинаковой температуре молекулы всех газов обладают одной и той же средней энергией движения.

Это позволяет на опыте определить величину постоянной Больцмана, наблюдая за одной какой-либо молекулой газа в течение достаточно длительного времени. Средняя скорость движения любой молекулы за это время будет всегда одной и той же, именно — в точности соответствующей температуре газа.

К сожалению, никакой самый мощный из существующих микроскопов не позволяет пока проследить за одной чем-либо «меченной» молекулой. Такой опыт оказался бы все-таки возможным, если бы удалось разыскать газ с необыкновенно крупными молекулами, чтобы их можно было видеть в микроскоп. Достаточно было бы всего одной молекулы, помещаемой в любой обычный газ, например в воздух. Но где найти нужную гигантскую молекулу?

Оказывается, можно обойтись и без подобной «сверхмолекулы». Ее можно заменить ничтожно малой крупинкой, песчинкой, частицей тончайшего порошка. Конечно, такая частица не является молекулой — она сама состоит из многих тысяч молекул, — но если размеры частицы все же достаточно малы, то она, помещенная в газ, не будет находиться в равновесии. Под влиянием ударов мечущихся молекул газа и частица начнет совершать хаотические движения. В каждое мгновение удары молекул в одном каком-нибудь направлении окажутся более сильными, и частица начнет перемещаться в этом направлении. В следующее мгновение направление ее движения будет уже иным. Зигзагообразное движение супертонких частиц действительно наблюдается на опыте и названо броуновским движением, по фамилии открывшего его в 1828 году английского ученого-ботаника Роберта Броуна ².

Поскольку движение частицы управляется теми же законами, что и тепловое движение молекул (частица ведет себя

¹ И наоборот, температура определяет среднюю энергию теплового движения молекул. Следовательно, эта энергия может измеряться либо, как обычно, в единицах энергии — эргах, либо с помощью постоянной Больцмана — в градусах.

² Собственно, открытие Броуна относится к движению частиц в жидкости; для газов оно было открыто в 1881 году польским физиком Боданевским (в опытах с табачным дымом). Интересно, что броуновское движение довольно неожиданно используется... живыми существами, правда весьма своеобразными, — по такому принципу перемещаются вирусы.

как своеобразная «макромолекула»), то и ее кинетическая энергия в среднем тоже равна $\frac{3}{2} KT$. Само собой разумеется, что при той же энергии скорость «теплового» движения частицы будет гораздо меньше, чем у молекулы, ведь ее масса намного больше. Действительно, как показали измерения, средняя скорость частицы оказывается меньше 1 см/сек (вы помните, наверное, что средняя скорость молекул газа составляет сотни метров в секунду¹, то есть она больше в десятки тысяч раз).

Изучение броуновского движения производилось многими крупнейшими учеными, в том числе Эйнштейном (в 1905—1906 годах), и действительно помогло сделать очень важные выводы, касающиеся молекулярно-кинетической теории вещества. Некоторые из этих выводов кажутся на первый взгляд совершенно неожиданными.

Например, измерив величину постоянной Больцмана, можно, оказывается, затем найти и число... атомов или молекул в газе! Разве это не замечательная победа науки — точно подсчитать огромное множество никем никогда не виданных микрочастиц вещества или измерить массу каждой отдельной такой частицы?² И это далеко не единственный вывод огромного научного и практического значения, который удастся сделать ученым с использованием постоянной Больцмана. Нам еще придется вернуться к этим выводам, а пока укажем еще один, также исключительно важный. Он касается понятия «нуля температуры».

Речь идет, конечно, не о том нуле, при котором замерзает вода (то есть по стоградусной шкале), а о так называемом абсолютном нуле, чему соответствует, как известно, температура минус 273° по стоградусной шкале. Что же это за абсолютный нуль и почему температура не может еще понизиться?

Теперь-то ответ на этот вопрос становится очевидным. Абсолютный нуль соответствует такому случаю, когда средняя кинетическая энергия молекул равна нулю. Это видно из соотношения между энергией и температурой. Но ясно, что когда все молекулы остановились, перестали двигаться, то дальней-

¹ Средняя скорость молекул водорода, например, при температуре 0°С и давления 1 атм равна 1690 м/сек, молекул кислорода — 425 м/сек.

² Эти исторические опыты были впервые проведены в 1908 году французским физиком Жаном Перреном, изучавшим броуновское движение частиц смолы, взвешенных в воде. Свои расчеты он проводил с помощью теоретического уравнения, выведенного Эйнштейном.

шее понижение температуры уже оказывается невозможным — кинетическая энергия не может быть меньше нуля. Правда, мы знаем, что обычно этого состояния достичь нельзя: при охлаждении газа неизбежно наступает момент, когда он конденсируется — превращается в жидкость или твердое тело. Однако при очень сильном разрежении газа такая конденсация не наступает, и тогда в действительности удастся достичь температуры, очень близкой к абсолютному нулю.

Но вернемся к роли, которую играет в природе постоянная Больцмана. Может быть, она станет еще более ясной, когда мы прибегнем к нашему традиционному приему и перенесемся в мир с иным значением этой постоянной? Действительно, почему она должна быть обязательно равна именно $1,38 \cdot 10^{-16}$ *эрг/град*, а не 10^{-15} или 10^{-17} ? Почему при изменении температуры какого-либо объема газа на 1° суммарная энергия движения всех молекул в этом объеме изменится на 1 *эрг* только в том случае, если число молекул в объеме равно примерно 14 миллионам миллиардов, не больше и не меньше? Ведь могло бы быть и иначе: молекул могло оказаться всего 1 миллион миллиардов или, допустим, 100 миллионов миллиардов. Подумаешь, молекулы, все равно их никто не видит!

Пусть на самом деле постоянная Больцмана в нашем мире иных констант будет больше или меньше ровно в десять раз. Что случится при этом? Чем будет отличаться наш гипотетический мир от реального? Может быть, решительно ничем?

Мы уже знаем, что увеличение или уменьшение постоянной Больцмана в десять раз будет означать при прежней температуре ровно такое же изменение кинетической энергии молекул газа. Поскольку кинетическая энергия молекулы меняется как квадрат скорости и движения, то, очевидно, при этом скорость движения молекул должна измениться в среднем в $\sqrt{10}$ или примерно в $3\frac{1}{3}$ раза¹. Да, но ведь этого даже заметить мы, вероятно, не сможем, разве только снова уменьшимся в миллиарды раз и перенесемся в микромир...

Нет, дело будет обстоять совсем не так, и мы неизбежно «почувствуем» изменение — оно скажется немедленно и во многом, пожалуй, неожиданно: хотя молекулы и невидимы, их хаотическое тепловое движение проявляется во многих вполне видимых, ощутимых физических процессах и явлениях.

Да вот хотя бы тот же звук. Как мы уже знаем, скорость

¹ Точнее, подобным образом изменится так называемая средняя квадратичная скорость молекул,

распространения звука в воздухе неразрывно связана со скоростью движения его молекул — обе эти скорости имеют один и тот же порядок величины. Значит, если скорость движения молекул воздуха изменится примерно в $3\frac{1}{3}$ раза, настолько же изменится и скорость звука. Это изменение скорости звука не останется незаметным для нас, во многих отношениях оно будет весьма ощутимым.

Но скорость звука — совсем не самое главное в данном случае. Будут и более существенные изменения.

Помните, когда мы с вами оказались в атомно-молекулярном микромире, на равных основаниях с молекулами воздуха, то обратили внимание, как эти молекулы в своем непрерывающемся движении сталкиваются со стенкой комнаты. Столкнется молекула — и снова умчится. Нетрудно видеть, что каждая молекула, отразившаяся от стенки при столкновении, действует на нее с определенной силой. Величина этой силы зависит от массы молекулы и ее скорости: по известному закону механики сила при ударе равна количеству движения, то есть произведению массы на скорость молекулы. Причем эта сила действует дважды: сначала при ударе, а затем и при отражении молекулы от стенки.

С помощью статистических методов удастся определить общую силу воздействия молекул газа на ограничивающую твердую поверхность — силу, которая является не чем иным, как давлением газа на эту поверхность.

Оказывается, давление газа зависит только от двух величин: числа молекул газа в единице объема (чем больше эта так называемая концентрация молекул n , тем больше и число ударов молекул и, следовательно, давление газа на стенку P) и их средней кинетической энергии E . Но эта последняя, в свою очередь, как мы уже знаем, связана с температурой газа T через постоянную Больцмана K . Так получается, что давление газа есть простое произведение трех величин: концентрации молекул, постоянной Больцмана и абсолютной температуры газа ¹.

Кстати, именно эта зависимость и позволяет подсчитать, как по зернышку, все невидимое множество атомов и молекул в каком-либо объеме газа. Действительно, если постоянная Больцмана известна (например, хотя бы из опытов с броуновским движением «макромолекул», как это впервые проделал

¹ Это так называемое основное уравнение молекулярно-кинетической теории: $P = nKT$.

Перрен в опытах с крупинками смолы в жидкости), то стоит измерить давление и температуру газа, чтобы сразу получить величину концентрации молекул, то есть их число в единице объема. Разве не чудо! Собственно, в этом заключается во многом удивительная роль постоянной Больцмана, нашей первой знакомой из числа констант-сфинксов: она как бы перебрасывает мостик из таинственного, невидимого микромира в наш обычный, осязаемый и ощущаемый макромир. Таково же, по существу, главное значение и других физических констант этого класса.

С помощью постоянной Больцмана, устанавливающей причинную связь между хаотическим движением молекул газа и температурой, удастся дать правильную количественную оценку многих важнейших для физики и техники явлений и процессов. Это относится не только к газам. Молекулярно-кинетические представления позволяют получить верные количественные соотношения и для ряда явлений в твердых телах: например, правильно определить теплоемкость¹, рассчитать законы движения такого необыкновенного «газа», каким являются электроны в кристаллической решетке, и т. п.

Универсальность молекулярно-кинетической теории, оказывающейся верной для всех без исключения газов, если только они близки к идеальным, поистине поразительна. Каков бы ни был химический состав газов, каково бы ни было строение молекул, какова бы ни была их масса, все равно в данном объеме газа при определенном давлении и температуре всегда будет содержаться строго определенное, всегда одно и то же количество молекул и атомов. Этот вывод, являющийся одним из основных газовых законов, известен в физике как закон Авогадро, по фамилии физика, открывшего его в 1811 году.

В 1 см^3 воздуха, азота, водорода, гелия, любого другого постоянного газа при так называемых нормальных атмосферных условиях (то есть температуре 0°C и давлении 760 мм ртутного столба) всегда содержится $2,68 \cdot 10^{19}$ молекул или атомов. Это число (в физике его называют числом Лошмидта) определялось экспериментально многократно, самыми разными методами, с большой точностью. И всегда оно оказывалось именно таким, и никаким другим. В общем, если подумать, это тоже удивительнейшая физическая константа. Но она только следствие существования константы более общей, более фундаментальной — постоянной Больцмана.

¹ Закон Дюлонга и Пти.

Физики и инженеры часто вместо постоянной Больцмана используют ее произведение на число Авогадро. Такое произведение означает как бы постоянную Больцмана, отнесенную не к 1 молекуле, а к 1 *молю* газа. Естественно, это более устаревает практиков — ведь им приходится иметь дело не с отдельной молекулой, а с вполне ощутимыми макроколичествами газа. Величина такого произведения, равная $1,38 \cdot 10^{-16} \times \times 6,02 \cdot 10^{23} = 8,31 \cdot 10^7 \frac{\text{эрг}}{\text{град} \cdot \text{моль}}$ (или $8,31 \frac{\text{дж}}{\text{град} \cdot \text{моль}}$), представляет собой, очевидно, столь же фундаментальную и универсальную постоянную для всех газов, как и сама постоянная Больцмана. Ее так и называют в науке — универсальная газовая постоянная (обычно обозначая латинской буквой R); она показывает, насколько изменяется средняя энергия теплового движения всех молекул 1 *моля* газа при изменении его температуры на 1° , так что, по существу, постоянная Больцмана есть универсальная газовая постоянная, отнесенная к одной-единственной молекуле ¹.

Вернемся, однако, к миру иных констант, в котором постоянная Больцмана в десять раз больше или во столько же раз меньше, чем в действительности. Вряд ли нужно напоминать, что такое «изменение» постоянной Больцмана возможно лишь в нашем рассказе, иначе какая бы это была «постоянная»...

Если величина постоянной Больцмана будет иной, то основное уравнение молекулярно-кинетической теории (или уравнение состояния газа) нарушится, и, чтобы восстановить равенство его правой и левой частей, нужно соответственно изменить другие члены уравнения. Сделать это можно по-разному.

Можно, например, сохранить прежние значения температуры газа и его концентрации, то есть число молекул в единице объема, тогда сохраняется и значение числа Лошмидта (числа молекул в 1 см^3), и объема моля ($22,4 \text{ л}$), и плотности газа. Но при этом, очевидно, должно измениться давление газа, потому что изменится средняя скорость, с которой молекулы ударяются о стенку. Постоянная Больцмана возрастет в десять раз — во столько же увеличится давление; уменьшится постоянная — уменьшится и давление.

¹ Основное уравнение молекулярно-кинетической теории газа, отнесенное к молю, превращается в уравнение состояния (или уравнение Клайперона — Менделеева): $PV = RT$. Без этого уравнения не обойдется ни ученый-физик, ни инженер-теплотехник.

Разумеется, столь значительное изменение давления не осталось бы незамеченным. Ведь даже сравнительно малые колебания атмосферного давления воспринимаются нами как предвестники предстоящего изменения погоды. Не зря такое почетное место в нашем обиходе занимает обыкновенный барометр. А здесь изменение в десять раз. Это значит, что «нормальное» барометрическое давление стало бы равным 10 атм или же 0,1 атм. В обоих случаях жизнь на Земле вряд ли оказалась бы возможной, по крайней мере, разумная жизнь. Ведь давление в 10 атм существует в океане на глубине 100 м, а давление в 0,1 атм — на высоте около 15 км.

Пагубно сказалось бы столь сильное изменение атмосферного давления и на многих машинах. При увеличении атмосферного давления в десять раз работа автомобильных и всяких других двигателей внутреннего сгорания резко ухудшилась бы, а реактивные двигатели самолетов и вовсе не смогли бы работать без радикального изменения конструкции с целью ее упрочнения. Не лучшим образом сказалось бы и десятикратное уменьшение давления — при этом мощность двигателей настолько упадет, что они практически перестанут выполнять свои функции, окажутся бесполезными, а многие и вовсе не смогут работать. В общем, как видно, не только для человека, но и для многих созданных им машин лучше всего подходят нормальные условия, существующие ныне на Земле.

Однако давление вовсе не обязательно должно меняться, оно может сохраниться и прежним. Можно представить себе и такой мир иных констант, в котором изменение постоянной Больцмана вызовет изменение не давления, а температуры газа. При увеличении постоянной Больцмана в десять раз температура должна в этом случае уменьшиться во столько же раз, и наоборот, уменьшение постоянной Больцмана вызовет соответствующий рост температуры. Но ведь это значит, что температура воздуха будет равна либо 25—30°K, либо 2500—3000°K! Вряд ли нужно доказывать, что и в сжиженном воздухе, когда атмосферы совсем не будет, и в раскаленной атмосфере топки котла жить нельзя. Пожалуй, сохранение давления постоянным вовсе не лучше, чем его изменение при переходе в мир иных констант.

Возможен, правда, и еще один, третий вариант нашего мира иных констант, именно с сохранением прежних значений и давления и температуры. В этом случае измениться должна концентрация молекул ровно настолько, насколько изменится постоянная Больцмана: если, например, она увеличится в де-

сять раз, то концентрация молекул во столько же раз уменьшится. Число Лошмидта будет в нашем новом мире в десять раз меньшим, объем моля — в десять раз большим и равным уже не 22,4, а 224 л. Точно так же изменится и плотность газа: хотя его давление и температура останутся неизменными, плотность уменьшится в десять раз¹.

Но будет ли лучше наш воображаемый мир и в этом случае?

Пожалуй, нет. Ведь дышать воздухом в этом мире все равно не удастся: в нем будет слишком мало кислорода (в десять раз меньше нормального количества). Если же постоянная Больцмана уменьшится в десять раз, то плотность возрастет. В легкие будет поступать в десять раз больше кислорода, чем сейчас, — дышать и таким воздухом нельзя.

Однако каким же на самом деле будет мир с измененной постоянной Больцмана? Какой из рассмотренных трех вариантов реализуется в действительности, ведь одновременно все они осуществиться не могут?

Может быть, ответ на эти вопросы будет неожиданным, но, оказывается, все три варианта невозможны не только одновременно, но и... порознь. Единственно возможен совсем иной, четвертый вариант.

Конечно, непосредственно из уравнения (как говорят математики, формально) следует, что изменение постоянной Больцмана может вызвать изменение любого параметра состояния газа. Однако нетрудно видеть, что всякое подобное изменение неизбежно связано с изменением микросостояния газа, то есть энергии движения его молекул. А разве это возможно?

Вывод оказывается поистине неожиданным: ведь если микросостояние газа не меняется, то не изменяются и параметры его макросостояния. Что же тогда вообще изменяется при изменении постоянной Больцмана?

Как это ни кажется обидным для такой действительно фундаментальной физической константы, но приходится признать, что ее изменение ничего не изменило бы в окружающем нас мире. Мир иных констант оказался бы в этом случае точнейшей копией нашего истинного мира, так что они были бы просто неразличимы. Как говорится, вот так фунт!

¹ Это непосредственно следует из уравнения состояния, в котором универсальная газовая постоянная будет иметь уже в десять раз большую величину.

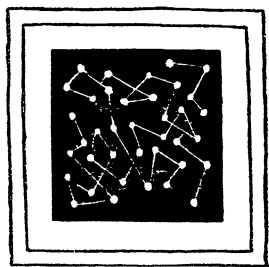
Да, но как же температура? Ведь если энергия та же, а постоянная Больцмана изменилась, то, по самому ее определению, должна измениться и температура.

Конечно. Если, например, постоянная Больцмана уменьшится в десять раз, то таяние льда будет происходить уже при температуре не 273°К , а 2730°К . А кипение воды не при 373°К , а при 3730°К ! Пожалуй, только один абсолютный нуль не изменит своего положения. А каково будет жить в этом раскаленном мире?

Отлично будет жить. Ибо хотя наш новый термометр будет показывать 3000°К , мы будем по-прежнему чувствовать себя как обычно в жаркий летний день при температуре 27°С . Если бы мы сохранили от старого мира и старый градусник, то он и в мире иных констант показывал бы прежнюю, привычную для нас температуру (например, под мышкой ровно $36,7^{\circ}$). Но в новом мире термометры будут градуированы иначе — ничего не поделаешь, этого требует новая постоянная Больцмана. И если судить по новому градуснику, то объем газа при увеличении его температуры на 1° возрастет не на $1/273$, а на $1/2730$ часть (хотя, конечно, это увеличение по абсолютной величине ничуть не изменится по сравнению с прежним).

Как видно, хорошо известные газовые законы изменятся в мире иных констант лишь по видимости, а никак не по существу. Что ж тут удивительного, ведь постоянная Больцмана — это только «окошко» в микромир, а оттого, что окошко станет более узким или более широким, сам-то микромир не изменится. Но разве это хоть в какой-нибудь мере уменьшает ту роль, которую играет «окошко»?

Вот как случается в мире иных констант...





ТАЙНЫ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

ПЛЯШУЩИЕ ЧЕЛОВЕЧКИ ■
АРХИТЕКТУРА АТОМА ■
СЧАСТЛИВЫЙ СЛУЧАЙ ■
«МИКРОПЛАНЕТЫ» НА ОР-
БИТАХ ВОКРУГ ВНУТРИ-
АТОМНОГО «МИКРОСОЛН-
ЦА» ■ ПОРТРЕТ ЭЛЕКТРО-
НА ■ КРУШЕНИЕ АТОМА —
ЭЛЕКТРОНЫ ГИБНУТ
В ЯДРЕ ■ В ОДНОМ КУ-
БИЧЕСКОМ САНТИМЕТРЕ—
МИЛЛИАРДЫ ТОНН! ■ НЕЙ-
ТРОННЫЕ ЗВЕЗДЫ И НЕЙ-
ТРОННЫЙ МИР ■ «ПЛАЗ-
МЕННЫЙ» ВОЗДУХ ■ ВСЕ-
ОБЩЕЕ КОРОТКОЕ ЗАМЫ-
КАНИЕ ■ ЧЕМ ДЫШАТЬ? ■
БЕССИЛИЕ ХИМИИ ■

Золотистый прозрачный камень ценился древними греками как самая большая драгоценность. Они снаряжали за ним в далекий путь специальные экспедиции: этот камень можно было найти только в одном месте на всем свете — у берегов холодного Балтийского моря. Много чудесных свойств приписывалось электрону — так называли древние греки солнечный камень. Одно из них существует в действительности, и оно поистине необыкновенно. Стоит сильно потереть куском электрона о материю, и он рождает таинственную силу, заставляющую потешно плясать пушинки или вырезанные из бумаги крохотные фигурки людей и зверей.

Мы теперь знаем немало примеров проявления этой чудодейственной силы при трении и других веществ, а не только электрона. Но именно древнегреческое наименование янтаря, этой застывшей ископаемой смолы доисторических хвойных деревьев, дало название самой силе — электричество.

Шло время, развивались наука, техника, культура, и все большую роль играло электричество в жизни человека.

Уже не любопытный феномен, не забавная игрушка, а могучая сила природы — таким предстает перед нами теперь электричество. Невозможно вообразить современную жизнь без электричества — не зря наш век называют электрическим. Трудно даже перечислить все примеры практического использования электричества на службе человеку, назвать многочисленные физические, химические и биологические явления, в основе которых лежит электричество. Да что говорить, загляните в любую энциклопедию, в любой словарь: многие десятки и сотни новых слов появились в языках всех народов благодаря электричеству — язык едва поспевает за стремительно развивающейся наукой.

Напряженной и драматической была борьба науки за раскрытие тайн электричества. Эту борьбу вели поколения ученых, но она еще далеко не завершена и сейчас. И хотя об электричестве написаны сотни и тысячи книг, ему посвящено бесчисленное множество статей в научных журналах и докладах на научных конференциях, на вопрос о том, что же такое в конце концов электричество, и сегодня вы не услышите прямого и вразумительного ответа. Впрочем, электричество далеко не единственная сила природы, к которой это относится...

Долгое время электрические свойства тел объясняли свойствами некоей своеобразной «электрической жидкости», заключенной в этих телах. Идея электрической жидкости или

газа и на самом деле позволяет многое объяснить и до сих пор с успехом используется наукой для решения разных загадок электричества. Но разве объяснить электрические свойства тел свойствами какой-то таинственной электрической жидкости — значит в действительности что-нибудь объяснить? Да и каковы свойства этой жидкости?

Первым высказал гипотезу о том, что «электрическая материя состоит из частиц крайне малых», американский физик Бенджамин Франклин еще в 1749 году. Тем не менее эта гипотеза долго не пользовалась единодушной поддержкой ученых. Даже в конце прошлого века, в 1897 году, английский физик Кельвин писал об «электричестве как непрерывной (!) однородной жидкости», хотя в том же году другой английский ученый, Дж. Дж. Томсон, строгими опытами, о которых еще пойдет речь, неопровержимо доказал, что электричество имеет атомистическую структуру, состоит из отдельных частиц, «атомов электричества». Что же представляют собой «атомы» этой необыкновенной «электрической жидкости», частицы, из которых она состоит?

Дать имя «атомам электричества» было, пожалуй, самым простым делом. И это имя было дано «электрон» (опять электрон!). Куда сложнее была расшифровка многочисленных тайн электрона¹.

Свидетельств тому, что электричество действительно имеет как бы атомарную структуру, у ученых было хоть отбавляй. Всё новые и новые эксперименты с неопровержимой убедительностью доказывали: да, это так. Подтверждения поступали с различных участков научного фронта: ученые получали их при изучении самых разнообразных, иной раз весьма далеких друг от друга природных явлений.

Один из первых экспериментов такого рода был проведен около полутора лет назад (в 1838 году) великим английским физиком Майклом Фарадеем. Пропуская электрический ток через растворы разных веществ, он установил, что из раствора (его в этом случае называют электролитом) выделяются на погруженных в него электродах различные вещества. Этот процесс известен под названием электролиза и получил очень широкое применение в современной технике.

Так вот, оказалось, что количество выделяемых веществ строго пропорционально количеству прошедшего через раст-

¹ Название «электрон» было предложено в 1891 году ирландским физиком Дж. Стонеем и вскоре стало общепринятым.

вор электричества: вдвое больше пройдет электричества — вдвое больше выделится вещества. Разве не свидетельствует эта закономерность (названная затем законом Фарадея), что существует строгая количественная связь между числом атомов вещества и соответствующим числом «атомов электричества»?

Примерно сто лет назад было открыто¹, что электрический ток свободно проходит через стеклянную трубку, из которой откачан почти весь находившийся в ней воздух. Внутри трубки возникают какие-то неизвестные ранее лучи, заставляющие светиться участки стекла трубки, расположенные против одного из электродов — катода; эти лучи, испускаемые катодом, так и называли — катодными.

Английский физик Уильям Крукс в 1874 году высказал смелое предположение о том, что катодные лучи есть не что иное, как поток быстро летящих «атомов электричества» — электронов.

В конце прошлого века, 26 февраля 1888 года, русский физик А. Г. Столетов в лаборатории Московского университета проделал опыт, который можно назвать поистине историческим, таково его значение для всего дальнейшего развития науки и техники. Когда он направлял луч света на металлическую пластинку, то беспристрастные приборы регистрировали, что пластинка теряет некоторое количество электронов, — свет впервые породил электрический ток.

Значение этого опыта заключалось не только в открытии так называемого фотоэлектрического эффекта², важного в научном и практическом отношении (вспомните бесчисленную армию верно служащих людям фотоэлементов), и даже не просто в новом блестящем подтверждении «атомной структуры» электричества. Пожалуй, главное состояло в том, что опыт указывал на непосредственную и прямую связь электронов с самим веществом, связь, которая, собственно говоря, уже незримо присутствовала и в других упоминавшихся вы-

¹ Это открытие принадлежит немецкому физiku Плюккеру и сделано им в 1869 году.

² Независимо от Столетова, который первым детально изучил фотоэффект, он был открыт также немецким физиком Генрихом Герцем. Однако первый в мире фотоэлемент (фотосопротивление из селена) был создан в 1872 году, а в 1880 году было создано и первое автоматическое фотоэлектрическое устройство — его автором был русский физик и биолог П. И. Бахметьев. Теоретический закон фотоэффекта был открыт Эйнштейном в 1905 году.

ше опытах. Эта связь была действительно вскоре установлена в строгих опытах английским ученым Дж. Дж. Томсоном, изучавшим катодные лучи.

Но что это значит — электроны связаны с веществом? Ведь вещество состоит из атомов и молекул, мы это теперь хорошо знаем. Выходит, электроны связаны с атомами? А раз электроны иной раз высвобождаются (не об этом ли говорят все упоминавшиеся опыты?), то эта связь... рвется. Но тогда атом может либо терять, либо приобретать электроны. Значит, атомы не так просты, как казалось, это вовсе не какие-то сплошные упругие шарики, столкновениями которых мы интересовались в предыдущей главе.

Как же устроен атом, какова его «конструкция», его «архитектура»? Если XIX век ознаменовался триумфом представлений об атомистическом строении вещества, то проникновение в недра атома стало уделом нынешнего, XX века. И хотя этот штурм атома уже привел к величайшим достижениям науки (атомная энергия служит человеку!), он еще далеко не закончен.

Как бы ни был устроен атом, ясно одно: он электрически нейтрален и, значит, помимо отрицательного электричества — электронов, — должен содержать в себе и равное количество электричества положительного. Вот почему Дж. Дж. Томсон, первый неопровержимо доказавший в опытах с катодными лучами, что атом «не так прост, как кажется», что он представляет собой какую-то сложно устроенную систему, создал и первый «проект» атома. Автор этого проекта считал атом каплей-шариком вещества, имеющего положительный заряд; внутри этого шарика как бы плавают электроны, число которых может изменяться в результате их испускания или поглощения.

Казалось, что спорить о том, как же в действительности устроен атом, не имеет никакого смысла. Ну, шарик так шарик, электроны плавают — пусть плавают. Ведь все равно это, наверное, нельзя будет проверить: самих-то атомов никто никогда не видел — где уж тут внутрь атома забраться! Так что сколько «проектов» атома ни создавай, все они будут равноправными — никакое жюри в конкурсе подобных проектов не сможет отдать обоснованное предпочтение ни одному из них.

Но жизнь быстро опровергла эти сомнения — она оказалась богаче всяких схем. На помощь человеку, стремившемуся проникнуть в тайны природы и, казалось, зашедшему здесь в тупик, пришла сама природа. Она великодушно преподне-

сла науке сюрприз, использовав для этого своего верного слугу — случай.

Случай, который в 1896 году помог французскому ученому Анри Беккерелю открыть явление радиоактивности, был действительно бесценным подарком природы. Кто знает, насколько ускорил он начало эры атомной физики... И дело не только в том, что впервые выяснилось необыкновенное свойство некоторых атомов самораспадаться, что таким образом был развеян старинный миф о вечности, незыблемости, неделимости атома. Продукты распада радиоактивных атомов, прежде всего атомов радия, открытого Марией Кюри-Склодовской и Пьером Кюри через два года после счастливой находки Беккереля, оказались тем чудесным инструментом для исследования структуры атомов, о котором мечтали физики.

Первым использовал этот инструмент — и с каким блеском! — великий английский физик Эрнест Резерфорд. Сначала он установил, что одной из составных частей радиоактивных лучей, испускаемых распадающимися атомами радия, являются так называемые альфа-частицы. Эти довольно массивные частицы (их масса примерно в четыре раза больше, чем у атома водорода), имеющие, как оказалось, положительный электрический заряд, обладают при вылете из «гибнущего» атома радия значительной скоростью.

Резерфорду пришла в голову счастливая мысль использовать альфа-частицы для «просвечивания» вещества. Он рассуждал просто: энергичные альфа-частицы ворвутся в изучаемое вещество и будут там встречаться с его атомами. Что из этого выйдет? Пожалуй, следя за судьбой невидимых «снарядиков» — альфа-частиц, можно будет получить хотя бы некоторое представление и о том, каков характер «мишеней», то есть атомов вещества.

Итак, пучок альфа-частиц направлен на тончайший листик золота. И золото «заговорило». Благородный металл сделал действительно благородное дело для науки, поведав о строении своих атомов. Оказалось, что идея Дж. Дж. Томсона об атоме-капле несостоятельна. Этот первый «архитектурный» проект атома был безжалостно забракован, ибо альфа-частицы на своем коротком пути в золотом листочке вели себя так, будто атомы золота вовсе не сплошные шарики, а какие-то почти «прозрачные» конструкции.

От этого наблюдения Резерфорду оставался уже только один шаг до создания нового «проекта» атома. Атом «прозрачен»? А не так ли «прозрачна» и наша Солнечная система,

например, для какого-нибудь пришельца из далеких звездных миров?

И на свет родилась знаменитая резерфордовская планетарная модель атома: в центре — крохотное атомное ядро (крохотное даже по сравнению с ничтожно малыми размерами самого атома, оно меньше него примерно в 100 тысяч раз), а вокруг этого внутриатомного «микросолнца» по орбитам движутся такие же «микропланетки» — электроны. В общем, все как в настоящей Солнечной системе, за исключением разве того, что электроны удерживаются у своего «солнца» — атомного ядра — не силой тяготения, а силой притяжения, возникающей между разноименными электрическими зарядами (электроны заряжены отрицательно, а ядро — положительно).

Так электроны «нашли свое место» в атоме. Правда, и новая модель атома оказалась лишь очень грубым приближением к действительности. В микромире действуют свои, особые законы. И принятая современной наукой модель атома разительно отличается от простой планетарной модели Резерфорда. Однако планетарной модели было суждено сыграть огромную положительную роль в развитии науки. Она впервые объяснила таинственные причины периодичности свойств химических элементов, открытой Менделеевым, и раскрыла многие закономерности химических превращений.

Но вернемся к электрону. «Атом электричества» оказался своеобразной частицей вещества, первой из ставшего ныне уже многочисленным семейства так называемых элементарных частиц. Электрон — неизменная составная часть атомов всех химических веществ, из которых построена Вселенная. И бесчисленное множество окружающих нас электронов абсолютно тождественно, все электроны совершенно одинаковы и неразличимы. Нужно признаться, впрочем, что идеальное «сходство» всех электронов между собой вовсе нельзя считать так уж само собой разумеющимся. По существу, наука еще должна найти ему объяснение. Впрочем, объяснения потребует, конечно, и само понятие электричества, ибо тот факт, что электрон переносит элементарный заряд отрицательного электричества, еще ничего не говорит о природе самого электричества.

Пожалуй, самое важное — какова масса электрона и величина его электрического заряда, хотя и эти данные еще далеко не исчерпывают всех характеристик электрона.

Вспомните, как ученым удалось пересчитать мириады не-

видимых атомов и, таким образом, измерить массу каждого отдельного атома, взвесить его,— об этом рассказывалось в предыдущей главе. Это было величайшим научным подвигом. Но, очевидно, с электронами подобная задача неизмеримо сложнее: электроны гораздо меньше и легче даже ничтожно малых по размерам и массе атомов. Иначе как бы могли электроны столь свободно и легко перемещаться в металлической проволоке: ведь в металле атомы расположены очень плотно, почти касаясь друг друга. Об этом же говорит и то, что, как мы теперь знаем, электроны входят в состав атомов. И тем не менее масса электрона была точно измерена, как был измерен и его заряд, причем эти измерения были осуществлены самыми разными способами, но всегда с одним и тем же результатом. Не правда ли, какое яркое свидетельство всемогущества науки, неисчерпаемости человеческого гения!

Как же это было сделано?

Мы уже упоминали о знаменитых опытах Фарадея, установившего в 1833 году строгое количественное соотношение между числом атомов различных веществ, выделенных из электролита, и прошедшим через электролит током. Эти опыты доказали, что «атомы электричества» неразрывно связаны с атомами вещества, и вместе с тем позволили определить, сколько электричества переносится на один атом вещества.

Оказалось, например, что когда из электролита выделяется 1 г водорода, то величина электрического тока, прошедшего через электролит, равна $2,894 \cdot 10^{14}$ абсолютных единиц электрического заряда¹. Если из электролита выделится такое же количество гораздо более массивных атомов калия, серебра и других веществ (конечно, масса этих веществ будет соответственно больше, ведь она равна грамм-атому), то все равно величина переносимого ими электрического заряда останется прежней: $2,894 \cdot 10^{14}$ единиц. Правда, Фарадей заметил, что если взять грамм-атом таких веществ, как, например, кальций, магний, цинк и др., то переносимое количество электричества будет уже другим, но... ровно вдвое большим.

¹ Величину в 1 абсолютную единицу имеет заряд, действующий на другой такой же заряд, находящийся на расстоянии от него в 1 см, с силой в 1 *дину* (в соответствии с так называемым законом Кулона). Если же измерять электрический заряд в кулонах, то он будет численно меньше в 3 миллиарда раз, то есть равен 96 496 кулонам. Это число называют числом Фарадея (точнее, число Фарадея относится к одному грамм-атому, или 1,008 г водорода).

Сам Фарадей, сделавший это замечательное открытие, не пошел дальше, ибо в его времена атомистические представления еще не получили гражданства в науке. Логические выводы из опытов Фарадея были сделаны через полвека: в 1881 году немецкий физик Гельмгольц в лекции, посвященной Фарадею, заявил, что из его опытов непосредственно следует наличие «атомов электричества». Но и он не был еще в состоянии определить величину элементарного заряда, то есть заряда, приходящегося на каждый отдельный атом,— тогда еще не было известно число атомов в грамме водорода. Это число, как мы теперь знаем, есть число Авогадро, и оно равно $6,02 \cdot 10^{23}$.

Зная число Авогадро и общий электрический заряд, переносимый через электролит всеми атомами 1 г водорода, можно легко определить элементарный заряд, приходящийся на каждый атом. Для этого нужно, очевидно, разделить общий заряд, равный, как установил Фарадей, $2,894 \cdot 10^{14}$ единиц электрического заряда, на число Авогадро $6,02 \cdot 10^{23}$. Результат такого деления и определит величину элементарного заряда: $e = 4,8 \cdot 10^{-10}$ абсолютной единицы. Чтобы проиллюстрировать малость этой величины, достаточно сказать, что ток силой в 1 а соответствует потоку в $6 \cdot 10^{18}$ электронов в секунду.

Правда, в действительности дело обстояло иначе. Величина элементарного электрического заряда была установлена иным путем (мы расскажем об этом позже), а затем по ней и найденной Фарадеем величине общего заряда, переносимого грамм-атомом водорода, было определено значение числа Авогадро. Оно оказалось равным $6,02 \cdot 10^{23}$, то есть в точности равным значению, определенному по постоянной Больцмана. Разве не блестящий триумф науки, не убедительное доказательство абсолютной реальности атомов, невидимых и неосознаваемых?

Честь первого экспериментального определения заряда электрона принадлежит Дж. Дж. Томсону, об опытах которого с катодными лучами мы уже говорили. Правда, Томсон определил не непосредственно самую величину заряда электрона e , а ее отношение к массе электрона m , то есть величину

$\frac{e}{m}$, или так называемый удельный заряд электрона. Да и в

последующих опытах определялась именно величина удельного заряда, и не случайно, как мы это увидим.

Что же сделал Томсон?

Его идея была простой, как все гениальное. Он рассуждал так: если катодные лучи — это поток электронов, то их движение в электрическом или магнитном поле не будет прямолинейным, лучи должны отклоняться, причем величина отклонения будет зависеть от заряда электрона. Значит, нужно измерить отклонение.

На пути катодных лучей Томсон поставил фотографическую пластинку — на ней падающие лучи оставляли пятнышко следа. Конечно, Томсон не подозревал, что его идея когда-нибудь повторится в трубках миллионов кинескопов, зажжет голубые экраны телевизоров во всех уголках земного шара. Ему нужно было «поймать за хвост» неуловимый и невиди-

мый электрон, нужно было найти величину $\frac{e}{m}$. Сделать это теперь было уже, в общем, просто.

Томсон тщательно измерил, какова величина отклонения пятнышка следа на фотопластинке по вертикали под действием приложенного электрического поля. Отклонение зависит

непосредственно от отношения $\frac{e}{m}$ (не от заряда e и массы m электрона по отдельности, а именно от их отношения). Но, к сожалению, оно зависит также, как легко видеть, и от скорости электронов, а она неизвестна. Получается одно уравнение с двумя неизвестными, чего, как знает каждый школьник, недостаточно, чтобы найти неизвестные. Однако Томсон легко получил недостающее второе уравнение — он одновременно с электрическим полем подействовал на летящие электроны магнитным полем. Теперь уже пятнышко на фотопластинке отклонилось не только по вертикали, но и по горизонтали. Стоило измерить горизонтальное отклонение — и второе уравнение готово. Ну, а найти по двум уравнениям два неизвестных проще простого.

Так Томсон нашел величину $\frac{e}{m}$ для электрона. Нашел он, конечно, и второе неизвестное — величину скорости полета электронов в катодной трубке. И вот что было крайне важно: как он ни менял условия опыта, как ни менялась величина скорости электронов, значение e всегда, во всех опытах, было неизменно одним и тем же. По крайней мере, в его опытах величина $\frac{e}{m}$ была удивительно постоянной. Потом уже

выяснилось, что она есть действительно универсальная физическая константа и неизменна всегда и везде, в любых опытах и при любых условиях. Да это и не удивительно, ибо величина $\frac{e}{m}$ — своеобразный «паспорт» электрона, выданный ему на всю жизнь, а так как все электроны одинаковы и неразличимы, то, естественно, и «паспорт» у них общий.

Величина $\frac{e}{m}$ из опытов Томсона оказалась равной $2,273 \cdot 10^{17}$ (если величину заряда измерить в абсолютных единицах, а массу m — в граммах¹).

Но как только Томсон нашел величину $\frac{e}{m}$ для электрона, то сейчас же сделал еще один логический вывод огромного научного значения, касающийся электрона. Он помнил, как в опытах Фарадея с электролизом было установлено, что каждый грамм водорода, выделяющегося из электролита, переносит через электролит строго определенное количество электричества, а именно: $2,894 \cdot 10^{14}$ абсолютных единиц заряда. Но легко видеть, что эта величина (мы уже упоминали, что ее называют числом Фарадея) есть не что иное, как отношение заряда электрона e , то есть элементарного электрического заряда или «атома электричества», к массе одного водородного атома M . Действительно, отношение $\frac{e}{m}$ во столько раз больше, чем e , во сколько 1 г больше массы одного водородного атома; следовательно, во столько раз, сколько атомов в 1 г водорода. Но и число Фарадея ровно во столько же раз больше, чем e , — ведь это число есть заряд, переносимый всеми атомами. 1 г водорода, причем каждый атом переносит заряд e . Следовательно, число Фарадея и есть отношение величины e к массе водородного атома.

Но это заключение неизбежно приводит к поразительному выводу. Если отношение заряда электрона к его собственной массе (или величина удельного заряда), найденное Томсоном, равно $5,273 \cdot 10^{17}$, а отношение этого же заряда к массе атома водорода равно числу Фарадея $2,894 \cdot 10^{14}$, то по обоим значениям легко определить отношение масс водорода и электрона.

Оказывается, масса электрона составляет лишь неболь-

¹ Здесь m — так называемая масса покоя электрона, о которой подробнее говорится в главе 9-й.

шую часть массы атома водорода — электрон легче в 1838 раз! Так, не зная истинной, ничтожно малой массы атома водорода, ученые нашли, что масса электрона еще во много раз меньше. Поистине чудеса творит наука, уверенно оперируя с невидимыми микрочастицами, точно определяя их различные свойства и с каждым опытом все более убеждая самых ярких пессимистов и критиков в том, что эти частицы — бесспорная объективная реальность, а не удобная выдумка самих ученых.

После замечательных опытов Томсона определения величины $\frac{e}{m}$ посыпались, как из рога изобилия, и самые разные, полученные в самых разнообразных опытах, снова и снова доказывая бесспорную реальность электронов. Так, например, голландский физик Лоренц в конце прошлого века определил величину $\frac{e}{m}$ из опытов со светом.

Американские физики Стюарт и Толлмэн в 1916 году осуществили остроумный опыт, который не только позволил еще раз определить величину $\frac{e}{m}$, но и вместе с тем убедительно доказал, что электрический ток в металлическом проводнике есть не что иное, как поток электронов. В этом опыте обычная металлическая катушка приводилась в быстрое вращение вокруг оси, а затем резко останавливалась. Поскольку находящиеся в витках катушки электроны имеют массу, то, значит, они обладают и инерцией — при резкой остановке катушки электроны некоторое время еще продолжали двигаться по инерции; в катушке возникал ток, который можно было измерить.

Когда Стюарт и Толлмэн проводили свои опыты, уже было известно число Авогадро (помните, в предыдущей главе говорилось об опытах Перрена в 1908 году?) и, следовательно, определена масса атома водорода. Поэтому оказалась известной и масса электрона, что позволяло определить

не только удельный заряд электрона $\frac{e}{m}$, но и его абсолютный заряд e . Однако нужды в этом уже не было, ибо незадолго перед этим величина заряда e была определена непосредственно из опыта, являющегося поистине историческим.

Этот изящный и остроумный опыт был проведен в 1911 году английским физиком Робертом Милликеном. Идея опыта

удивительно проста, но она оказалась и исключительно плодотворной. Ученый оперировал с крохотными капельками масла, образующимися при его разбрызгивании. Он наблюдал, как под действием силы тяготения эти капельки падают сначала просто в воздухе, а потом в электрическом поле (между пластинами конденсаторов). Воздействие электрического поля изменяло закон падения — некоторые капли вместо падения начинали подниматься: при распыливании они приобретали электрический заряд. Кроме того, Милликен еще облучал их для этой же цели рентгеновыми лучами. Изучая законы падения капелек в электрическом поле и при его отсутствии, Милликен установил, что всегда, во всех случаях, каков бы ни был диаметр масляной капельки, ее заряд был строго определенным. Он не всегда равнялся e , хотя были, конечно, и такие капельки, но обязательно был кратным e , то есть равнялся $2e$, $3e$, и т. д. И ни в одном случае заряд не составлял доли e , всегда только целое их число.

Разумеется, Милликен сделал вывод, что, очевидно, величина e есть вообще минимально возможное количество электричества, своеобразный «атом электричества», более уже неделимый, что носителем этого заряда является электрон.

Это было еще одно блестящее и весьма убедительное подтверждение и атомистической структуры электричества, и реальности существования электрона. Ведь в опыте Милликена счет велся буквально на отдельные электроны.

Но Милликен на этом не остановился. Количественные измерения скорости падения капелек масла позволили ему определить также и абсолютную величину заряда электрона e . Она оказалась равной $4,8 \cdot 10^{-10}$ абсолютных единиц. Так тайное стало явным. Разумеется, физике будущего еще предстоит объяснить, почему величина e именно такая, а не иная, научиться теоретически вычислять эту величину, без чего теория электрона не может считаться завершенной.

Зная величину e , легко было определить (по известному уже отношению $\frac{e}{m}$) и абсолютную величину массы электро-

на m . Поскольку $\frac{e}{m} = 5,273 \cdot 10^{17}$, то при $e = 4,8 \cdot 10^{-10}$ получается $m = 9,11 \cdot 10^{-28}$ г. Ничтожная масса! В одном грамме примерно столько электронов, сколько атомов в человеческом теле. Сравните гирьку в полграмма с массой земного шара; на столько же масса гирьки больше массы электрона. Но и

такую умопомрачительно малую массу, как видите, ученым удалось измерить — взвесить электрон. И это взвешивание было произведено куда точнее, чем какое-нибудь взвешивание в нашей повседневной практике. «Весы» ученых, на которых был взвешен невидимый, фантастически малый электрон, оказались на удивление точными.

Легко видеть, что опыты Милликена по определению заряда электрона дали попутно возможность снова определить массу атома водорода и число Авогадро, то есть число атомов в грамм-атоме. Разумеется, численные значения этих величин оказались все теми же. Так (уже в который раз!) природа подтвердила ученым, что атомы не выдумка, а реальная действительность, что атомы со всеми их свойствами существуют на самом деле, вне зависимости от того, верят в их существование или нет.

Итак, нам известны: масса электрона — m , электрический заряд — e . Вероятно, далеко не все свойства электрона уже открыты, ибо глубочайшим смыслом наполнены известные слова В. И. Ленина о том, что «электрон неисчерпаем».

Однако основные характеристики электрона (да и всякой другой элементарной частицы) — это масса и заряд.

Отношение $\frac{e}{m}$ для электрона является одной из фундаментальных физических констант, как и каждая из величин e и m в отдельности¹. Впрочем, почему фундаментальных? Что определяют эти константы в облике окружающего нас мира? Так ли уж сильно изменился бы мир, если бы эти константы имели иную величину? Или, может быть, при всей фундаментальности константы $\frac{e}{m}$ ее изменение вызвало бы какие-нибудь второстепенные, малозаметные изменения во Вселенной, а то и вовсе их не вызвало, как случилось с константой Больцмана?

Ответы на эти напрашивающиеся вопросы, конечно, могли бы помочь нам лучше познакомиться с ролью нашей константы в природе. Но ведь на то она и константа, чтобы быть постоянной и не меняться...

¹ В последние годы в научной литературе обсуждается гипотеза о непостоянстве величины заряда электрона e , именно о том, что эта величина зависит от возраста Вселенной, увеличиваясь вместе с ним. Это один из частных случаев в принципе возможного изменения фундаментальных физических констант, о котором подробнее будет рассказано в последней главе книги. Однако проведенные до сих пор исследования делают указанную гипотезу практически несостоятельной.

Да, в реальной действительности, но не на страницах этой книги, читатель, который уже, вероятно, не удивится, если мы предложим ему совершить еще одно путешествие в мир новых констант. На этот раз в мир с иными значениями константы $\frac{e}{m}$, например, изменившимися в связи с изменением величины электрона e .

...И вот наша константа возросла в десять раз. Это значит, что теперь она равна уже не $5,273 \cdot 10^{17}$, как в действительности, а $5,273 \cdot 10^{18}$.

Увеличение константы $\frac{e}{m}$ означает, что на каждую единицу массы электрона приходится чуть-чуть больше электричества, при прежней массе заряд чуть возрастет. Ну, и что же из этого? Какое дело до всей этой «микробури» в стакане воды нам-то, в нашем обычном макромире?

Но разве уже накопленный нами из предыдущих глав опыт не заставляет проявить известную осторожность и в данном случае? Мы уже попадали впросак и раньше с этим кажущимся отсутствием связи между физическими константами и окружающим нас миром.

Ну что ж, давайте рассуждать. Прежде всего ясно, что если заряд электрона возрастет в десять раз, то ровно на столько же возрастет и заряд протона. Ведь атом в целом должен сохраниться нейтральным. Если это атом водорода, то положительный заряд его ядра, состоящего из одного-единственного протона, должен в точности уравниваться отрицательным зарядом электрона, обращающегося вокруг ядра. Если же это другие, более сложные атомы, то суммарный заряд всех протонов в ядре должен равняться заряду такого же числа электронов на электронной оболочке атома.

Следовательно, в нашем атоме в мире иных констант массы ядра и электронов сохраняются, но их заряды возрастут вдесятеро. Могут ли свойства атома при этом остаться прежними?

Легко видеть, что нет, не могут. Действительно, вспомните, что удерживает электроны, движущиеся с огромной (тысячи километров в секунду) скоростью по своим орбитам вокруг ядра? Этой силой является взаимное электростатическое притяжение положительно заряженного ядра и отрицательно заряженных электронов. Помните из школьного курса физики: разноименные заряды притягиваются. Величина силы притя-

жения определяется известным законом Кулона: она прямо пропорциональна произведению величин зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними. Это относительно очень большая по величине сила, она равна примерно 18 000 000 т на каждый грамм массы электрона.

Хотя, как мы знаем, планетарная модель атома весьма далека от действительности, все же движение электрона вокруг ядра управляется теми же законами механики, что и движение планет вокруг Солнца или искусственных спутников вокруг Земли. Только в космосе силу электростатического притяжения заменяет сила тяготения (и соответственно место электрических зарядов занимают массы тяготеющих тел).

Как известно, каждой круговой орбите спутника, расположенной на данной высоте над Землей (точнее, на данном расстоянии от центра Земли), соответствует и строго определенная, одна-единственная возможная скорость движения спутника по орбите (ее называют первой космической скоростью). И ни по какой другой круговой орбите спутник не может двигаться с этой скоростью, только по этой единственной.

Но представьте себе, что сила тяготения внезапно возросла. Сможет ли спутник сохранить свое прежнее движение на этой орбите? Нет, конечно. Он начнет падать на планету.

То же произойдет с электроном, когда внезапно его заряд, как и заряд атомного ядра, возрастет в десять раз. Очевидно, сила притяжения электронов к ядру увеличится при этом в сто раз, и электроны начнут стремительно падать на ядро. Этот опасный центростремительный бег электронов закончится катастрофическим погружением электрона в «пучину» атомного ядра. Ведь даже в нашем обычном мире, с истинным значе-

нием константы $\frac{e}{m}$, иногда ближайшие к ядру электроны поглощаются, или, как говорят, захватываются им (физики называют подобное поглощение электронным захватом или К-захватом, поскольку захватываемые ядром электроны находятся на ближайшей к нему так называемой К-оболочке). В случае же такого огромного возрастания силы притяжения к ядру даже самые отдаленные от него электроны, вероятно, не уцелеют. Они погибнут внутри ядра. Как ни прочна конструкция атома с точки зрения обычных представлений (она, например, совершенно не реагирует на бесчисленные столкновения между атомами и молекулами), тут она становится исключительно «хрупкой» и разрушается.

Судьба электрона, ворвавшегося в ядро, оказывается действительно печальной: он «погибает» при столкновении с одним из протонов ядра. Протон этот тоже исчезает, превращаясь в нейтрон¹; оба противоположных по знаку заряда — электрон и протон — нейтрализуют друг друга, и естественно, что образовавшаяся новая частица оказывается электрически нейтральной, незаряженной.

Как же при этом изменяются свойства атомов? Очевидно, самым радикальным образом, ибо эти свойства прежде всего зависят от числа протонов в атомном ядре (или так называемого атомного номера) и соответственно от числа электронов на орбитах.

Здесь же атом рискует остаться вовсе без электронной оболочки да и без протонов в ядре — все они в этом случае превратятся в нейтроны. По существу, это означало бы гибель всего окружающего мира: исчезнет все многообразие химических элементов. Погибнет не только все живое на свете, но та же участь постигнет и мертвую природу. Из всех «строительных кирпичей» микромира — элементарных частиц, из которых сложена вся Вселенная, — останутся одни только нейтроны. Вселенная станет убогим, однообразным, мертвым нейтронным миром, построенным лишь из одного «строительного материала» — нейтронов.

Пока еще ученые не знают такого материала, он существует лишь на страницах научно-фантастических романов². Однако по одной из развитых современной наукой гипотез, чтобы встретиться с «нейтронным веществом», нет необходимости переноситься в мир иных констант. Эта гипотеза утверждает, что и в нашем реальном мире существуют космические тела, состоящие в основном именно из такого вещества, то есть из нейтронов³.

Мало того, по мнению некоторых ученых, в такие тела

¹ При этом ядро излучает новую элементарную частицу — нейтрино — и рентгеновы лучи.

² Так, например, писатель Г. Савченко в книге «Черные звезды» называет удивительное вещество, состоящее из одних лишь нейтронов, нейтриумом или нейтридом.

³ По другой гипотезе, в нейтронном или даже еще гораздо более плотном состоянии находилось все вещество окружающей нас Метагалактики примерно 15 миллиардов лет назад; потом произошел катастрофический взрыв, одним из проявлений которого является наблюдающееся в настоящее время «разбегание» галактик. Нейтронное состояние вещества ученые называют иногда «пятым», поскольку четыре уже известны: твердое, жидкое, газообразное и плазменное.

неизбежно должны превратиться, раньше или позже, многие существующие во Вселенной звезды, именно те, масса которых равна 1,2—2,0 массам Солнца (при еще большей массе произойдет неограниченное сжатие, так называемый коллапс звезды, а при меньшей массе образуется «белый карлик»; о них будет подробно рассказано в главе 10-й). Всем им суждено стать на «старости лет» именно нейтронными звездами.

Это произойдет, когда выгорит все термоядерное горячее в звезде и прекратятся идущие в ее недрах термоядерные реакции — источник энергии, щедро излучаемый звездой в окружающее пространство. После этого звезда должна неизбежно начать катастрофически сжиматься — ведь исчезнет препятствующее такому сжатию в обычных звездах радиационное давление, то есть давление рвущейся наружу лучистой энергии.

Сжатие приведет к возникновению в центральных частях звезды чудовищного давления, которое просто «вожмет» электронные оболочки атомов внутрь атомных ядер (этот процесс теоретически рассчитан более 30 лет назад известным советским физиком Л. Д. Ландау).

Тогда-то ядра и станут нейтронными, вся звезда превратится в тело относительно ничтожных размеров, диаметром порядка 10 км, но зато невиданной плотности¹. Ведь в веществе нейтронной звезды почти нет «пустот», являющихся основной частью обычного вещества. Нейтронная звезда состоит из плотно прилегающих друг к другу нейтронов — не удивительно, что в 1 см³ подобного вещества будет заключена колоссальная масса, большая, чем в таком же объеме ядерного вещества! Даже вещество сверхплотных «белых карликов», то есть известных современной науке звезд с огромной плотностью, до сотен килограммов и даже тонн в 1 см³, покажется пушинкой по сравнению с веществом нейтронной звезды. Его плотность достигает миллиарда тонн в 1 см³.

Существование нейтронных звезд, предсказанное Ландау, долго было лишь чисто теоретической возможностью, их не удавалось обнаружить, ибо сделать это действительно очень трудно. Они слабо светятся, излучая главным образом рентгеновы лучи, поскольку температура их поверхности очень высо-

¹ Как не похожа эта «твердая звезда» на обычные звезды, состоящие, как известно, из раскаленного газа! По существу, нейтронная звезда — это одно колоссальное атомное ядро, но созданное не силами внутриядерного сцепления, а могучей силой гравитации.

ка. Да и это излучение, как считают ученые, длится лишь сравнительно недолго после образования звезды, а потом ее можно обнаружить лишь в непосредственной близости по гравитационному притяжению да еще, может быть, по мощному магнитному полю.

Рентгеновское излучение, идущее из космоса, обнаружить на поверхности Земли нельзя, оно целиком поглощается земной атмосферой, которая не прозрачна для столь коротковолновых лучей. Вот почему большие надежды ученые связывали с заатмосферной «рентгеновской астрономией», использующей возможности ракетно-космической техники. И эти надежды действительно блестяще сбылись!

С помощью космических ракет и спутников, на борту которых были установлены «рентгеновские телескопы», удалось обнаружить долгожданные космические источники рентгеновского излучения: сначала в 1946 году были зарегистрированы рентгеновы лучи Солнца, а затем, в 1962 году, — и других космических источников. Теперь их число намного превышает сотню, два из них обнаружил, кстати, «телескоп», установленный на советском «Луноходе-1». Однако довольно долго не удавалось отождествить ни один рентгеновский источник с видимым астрономическим объектом, какой-нибудь звездой или галактикой. Но усилия ученых и здесь привели к успеху, хотя до сих пор отождествлены с видимыми на небе объектами лишь немногие космические рентгеновские источники.

Больше всего обнаружено «рентгеновских звезд». Первая такая звезда открыта в созвездии Скорпиона. Она, как и предсказывала теория, оказалась очень слабенькой оптической звездочкой — ее видимое излучение в тысячу раз слабее рентгеновского. Несколько рентгеновских источников отождествлено с галактиками — так наряду с рентгеновскими звездами появились и рентгеновские галактики. Интенсивность их рентгеновского излучения в некоторых случаях поразительно велика; например, для рентгеновской галактики Лебедь-А она в сто раз больше ее «радиосветимости», то есть интенсивности радиоизлучения, хотя она и является одним из самых сильных небесных «радиоизлучателей».

Число открытых рентгеновских космических источников быстро возрастает; рентгеновская астрономия чуть ли не ежедневно приносит новые сенсационные открытия, напоминая, по выражению одного из ученых, «бурлящий котел». В основном известные рентгеновские источники расположены в Галактике, но открыт уже десяток внегалактических источников

мощного рентгеновского излучения; один из них, в созвездии Персея, по мощности рентгеновского излучения превосходит Солнце в 10^{16} раз! Открыто и рассеянное (диффузное) космическое рентгеновское излучение, своеобразный рентгеновский фон неба — вся Вселенная слабо светится в рентгеновых лучах. Некоторые внегалактические рентгеновские источники излучают в рентгеновых лучах значительно больше энергии, чем в видимых. В общем энергетическом балансе Вселенной привычные нам видимые лучи, очевидно, играют просто ничтожную роль. Да и в целом рентгеновское и радионебо совсем не похоже на видимое нами. Многие рентгеновские звезды являются объектами с исключительно высокой плотностью и температурой и малыми собственными размерами, что типично именно для нейтронных звезд.

Но обнаружение рентгеновских звезд все же не позволило с уверенностью утверждать, что это и есть нейтронные звезды. Правда, один из первых космических рентгеновских источников был найден в хорошо известной астрономам Крабовидной туманности, которая является остатком от взрыва Сверхновой в 1054 году, а ведь именно в результате таких взрывов и могут образоваться нейтронные звезды. С вспышкой Сверхновой, происшедшей еще раньше, в 827 году, связано, вероятно, и происхождение рентгеновской звезды в созвездии Скорпиона. И все же это только предположение.

Пожалуй, важнейший и, нужно признать, совершенно неожиданный аргумент в пользу существования нейтронных звезд был получен совсем недавно, в 1967 году, когда были открыты пульсары, о которых упоминалось в главе 1-й. Свое название они получили потому, что их радиоизлучение не постоянно, оно меняется, пульсирует, причем строго периодически, как если бы это были сигналы от разумных обитателей какой-то далекой планеты! Сколь ни дерзко это предположение, оно настолько напрашивалось и казалось единственно возможным, что английские астрономы, открывшие первый пульсар, полгода не публиковали сообщений о своем открытии, опасаясь нездоровой сенсационности. Только потом, когда были открыты еще пульсары (теперь их известно уже около ста¹⁾) и изучены их свойства, от мысли о «зеленых человечках» пришлось отказаться. Но и без них с пульсарами оказалось связано немало сенсационных открытий.

¹ Общее их число в Галактике достигает, вероятно, миллиона, включая, правда, уже потухшие.

Первым видимым пульсаром оказалась уже известная нам рентгеновская звезда в Крабовидной туманности. Теперь это уже не единственный видимый пульсар, как и не единственный обнаруженный пульсирующий источник рентгеновского и гамма-излучения. Пожалуй, самое замечательное в пульсаре Крабовидной туманности (его обозначение — NP 0532) — совершенно одинаковый период всех видов электромагнитного излучения: оптического, гамма- и радиоизлучения.

Вероятно, именно пульсарам суждено стать первыми нейтронными звездами. По крайней мере, к этому выводу склоняется теперь большинство ученых, ибо едва ли не единственным мыслимым объяснением столь необычного явления оказывается гипотеза о нейтронной звезде с сильным магнитным полем. Хотя имеются и другие гипотезы, но они не пользуются поддержкой ученых — проще всего представить себе пульсар в виде быстро вращающейся вокруг своей оси нейтронной звезды, на поверхности которой имеется горячее «излучающее пятно». Получается модель своеобразного вращающегося маяка, хотя в принципе не исключены и вибрации звезды — попеременные сжатия и расширения. Период пульсаций излучения при такой модели будет равен периоду вращения звезды, то есть ее, так сказать, «суткам». Правда, это уж очень короткие, просто какие-то невиданно короткие сутки — они длятся всего секунды и даже доли секунды, ибо большинство пульсаров излучает свои импульсы несколько раз и даже десятки раз в секунду. Необычно, конечно. Но разве можно считать «обычным» небесным телом нейтронную звезду с ее ничтожно малым диаметром, невероятно большой массой и фантастически мощным магнитным полем?! Как если бы земной шар сжать до размеров яблока...

Насколько необычным небесным телом должен быть пульсар-нейтронная звезда, можно судить по существующим теоретическим представлениям о его строении. Предполагается, что под твердой наружной оболочкой — корой пульсара из вещества с большим содержанием нейтронов находится слабо связанный с ней слой сверхтекучей и сверхпроводящей нейтронной жидкости.

Какой парадокс — ведь в обычных условиях «квантовой» жидкостью с подобными свойствами является гелий при сверхнизких температурах, близких к абсолютному нулю, а температура нейтронной звезды по теоретическим представлениям достигает миллионов градусов!

Внутреннее ядро пульсаров состоит из сверхтяжелых эле-

ментарных частиц, так называемых гиперонов и резонансов. Чтобы нейтронное вещество затвердело, давление в нем должно достичь 10^{27} атмосфер! Сдвиги в коре пульсара, своеобразные «звездотрясения», приводят к скачкообразным изменениям скорости его вращения с соответствующим изменением частоты импульсов излучения.

У пульсаров обнаружили избыточное магнитное поле в миллиарды и даже триллионы гауссов! Это позволяет считать их тем источником космических лучей, которые так долго и настойчиво ищут ученые. Пульсары как бы оказываются грандиозными космическими ускорителями заряженных частиц. Каждый квадратный сантиметр поверхности пульсара излучает в миллионы раз больше энергии, чем на Солнце. Если это излучение связано с высокой температурой, то она должна достигать 10^{21} градусов.

Очевидно, излучение носит не тепловой характер и напоминает излучение созданных учеными квантовых источников — мазеров. Пульсары столь своеобразны и так резко выделяются среди других небесных тел, что когда в феврале 1972 года в США был запущен космический аппарат «Пионер-10», который через 15 лет после запуска покинет пределы Солнечной системы и через 11 миллиардов лет достигнет созвездия Тельца, то в заложенном в этот аппарат письме к «обитателям других звездных миров» координаты Солнечной системы в космосе решили обозначить относительно четырнадцати известных пульсаров, то есть использовать их как своеобразные космические ориентиры.

Но если, как считают ученые, вещество теряет атомную структуру и превращается в нейтронное под действием чудовищного давления только в недрах нейтронных звезд, то в нашем мире иных констант с увеличившимся удельным зарядом электрона $\frac{e}{m}$ такая судьба постигнет все вещество Вселенной. В этом мире уже некому будет посылать межзвездные экспедиции...

Интересно, что современная физика не только принципиально допускает возможность существования атомных ядер, составленных из одних нейтронов, но и усиленно ищет такие ядра, перебрасывая этим как бы мост от физики к астрофизике с ее нейтронными звездами.

Так, например, советские ученые в 1959—1960 годах теоретически предсказали, а позднее экспериментально установили существование сверхтяжелого изотопа гелия — He^8 , в ядре ко-

того, кроме двух протонов, оказалось не два, как обычно, а шесть нейтронов. Первые три акта рождения таких ядер были зарегистрированы на ускорителе в Дубне в 1965 году, затем наблюдали еще шестнадцать актов. В августе 1972 года советским ученым выдан диплом на экспериментальное открытие гелия-8.

Ученые ищут теперь своеобразные «капли» нейтронного вещества — атомные ядра, состоящие из одних лишь нейтронов: из четырех (так называемый тетранейтрон), шести и восьми. Теоретически возможность существования подобных нейтронных ядер до конца пока не выяснена. Но недавно в опытах, проведенных с помощью ускорителей, обнаружено существование своеобразной частицы — тринейтрона, — состоящей из трех нейтронов. Эта частица в земных условиях обладает ничтожно малым сроком жизни — всего 10^{-21} секунды. Такую малость даже представить себе трудно. Однако, может быть, при огромной плотности вещества в нейтронной звезде такие «капли» будут существовать намного дольше?

Некоторые открытия атомной физики последних лет заставляют нас предусмотреть и другой вариант судьбы электрона, орбита которого пересеклась с ядром атома из-за увеличения заряда в мире иных констант. Вероятно, электрон может и не поглотиться в ядре тяжелого атома, состоящем из многих нуклонов (то есть ядерных частиц — протонов и нейтронов). Так происходит, по крайней мере, когда вокруг атомного ядра движутся не электроны, а другие элементарные частицы, так называемые мю-мезоны или просто мюоны. Эти частицы во многом похожи на электроны, их заряд тоже равен e , но масса в двести с небольшим раз больше массы электрона.

Возможны и известны науке случаи, когда мезон начинает действительно обращаться вокруг атомного ядра подобно электрону, но на более близком расстоянии от него, поскольку его масса больше (радиус орбиты обратно пропорционален массе). Такие атомы ученые называли, в отличие от обычных, мезоатомами — это один из возможных видов так называемых «экзотических» атомов, у которых вокруг ядра обращается не электрон, а какая-нибудь иная отрицательно заряженная частица, например мезон.

В атомах тяжелых элементов, у которых из-за большого заряда радиус внутренних электронных орбит и так очень мал (сила притяжения велика!), его уменьшение еще в двести раз при замене электрона мюоном может привести к тому, что радиус орбиты станет меньше радиуса атомного ядра.

Оказывается, хотя это весьма удивительно, такие тяжелые мезоатомы действительно существуют!¹ И отрицательные мезоны вовсе не погибают в ядре, столкнувшись с протоном и нейтрализовав его, а продолжают двигаться по своим орбитам внутри ядра! Не правда ли, такой атом уже больше похож не на резерфордовскую планетарную модель, а на первоначальную, томсоновскую (помните электроны, плавающие в положительном ядре?). Может быть, и с электронами произойдет что-нибудь похожее? Тогда, по крайней мере, хоть часть всех атомов не погибнет, и Вселенная иных констант не станет нейтронной.

Однако, как показывает теория, пребывание электрона внутри ядра совершенно исключено, и по очень принципиальным соображениям, о которых подробнее будет рассказано в следующей главе. То, что возможно для мезона, оказывается недоступным электрону: его подводит меньшая масса. Следовательно, проникший в ядро электрон неизбежно «погибнет» в нем.

Но, может быть, в нашем мире иных констант образуются атомы, в которых электронные орбиты приблизятся к ядру, но не погрузятся в него? Очевидно, это могут быть лишь наиболее легкие атомы, но жизнь их будет, вероятно, очень короткой. Об этом говорит судьба аналогичных легких мезоатомов, например мезоатомов дейтерия. Из-за малого диаметра эти атомы способны сближаться настолько, что их ядра вступают между собой в ядерную реакцию, подобную термоядерной. Происходит своеобразная «холодная» термоядерная реакция, без миллионноградусных температур, характерных для обычных реакций этого рода, происходящих, например, в водородной бомбе. Такие реакции были теоретически предсказаны как американскими, так и советскими физиками.

Как видно, увеличение удельного заряда электрона во всех случаях вызвало бы поистине катастрофические последствия. Вот, оказывается, что значит «перенасытить» вещество элек-

¹ Теперь известны также экзотические атомы с обращающимися вокруг ядра такими тяжелыми элементарными частицами, как сигма-минус-гиперон (его масса больше, чем у электрона, в 2300 раз) и антипротон. Вместе с тремя мезоатомами (с пи-мезоном, мю-мезоном и ка-мезоном) это дает всего пять известных экзотоатомов. Эксперименты с подобными атомами — мощный метод исследования как атомных ядер, так и самих орбитальных частиц. Ведь чем тяжелее эти частицы, тем меньше радиус их орбит, тем глубже погружаются они в ядро. Мезоатомы уже начинают служить практике — в медицине, химии и т. д.

тричеством, увеличить величину заряда в единице массы вещества.

Но, может быть, противоположное действие (уменьшение удельного заряда) окажется не только возможным, но даже благоприятным для судеб мира?

Ну что ж, перенесемся теперь опять в мир иных констант, но уже с величиной удельного заряда электрона $\frac{e}{m}$, уменьшенной в десять раз по сравнению с истинной. Чем будет отличаться этот мир от реального?

Теперь уже сила, связывающая электроны с ядром атома, уменьшится в сто раз. Поэтому электроны удалятся на большие расстояния от ядра — радиусы их орбит возрастут также в сто раз. Если, например, диаметр орбиты электрона в атоме водорода ¹ равен примерно 1 ангстрему (то есть одной стомиллионной доле сантиметра), то теперь он будет равен 100 ангстремам. Разница, конечно, относительно большая, но так ли уж она важна? В конце концов, не все ли нам равно, будет диаметр невидимого атома чуть больше или чуть меньше? Оказывается, далеко не все равно.

Так, например, если мы имеем в виду твердое тело, то атомы в нем обычно расположены столь тесно, что соседние атомы почти соприкасаются своими электронными оболочками. Но когда диаметр атома возрастает в сто раз, то, очевидно, и все линейные размеры тела увеличатся примерно во столько же раз. Объем тела при этом увеличится в 100^3 , или в миллион раз, во столько же раз уменьшится плотность тела. Значит, мы с вами будем иметь рост метров полтора, а здание МГУ своим шпилем пронзит... стратосферу! Земля возрастет в размерах настолько, что сольется с Луной; атмосфера станет настолько разреженной, что дышать ею будет нельзя. Мир станет странным, необычным, жизнь вряд ли окажется возможной.

Но не только это. Если электроны находятся дальше от ядра атома из-за уменьшения силы связи с ним, то, очевидно, оторвать электрон от ядра теперь уже будет намного легче, ибо меньше энергия связи электрона с ядром. Теория показывает ², что если величина заряда электрона уменьшится в де-

¹ Так называемой 1-й боровской орбиты; об этом будет подробнее рассказано в следующей главе.

² Это легко получается из основных уравнений атомной физики, определяющих величину энергии электрона на данной орбите.

сять раз, то сила связи с атомом уменьшится уже в 10^2 , или в сто раз; радиус орбиты электрона возрастет в сто раз, а величина энергии связи уменьшится в 100^2 , то есть в десять тысяч раз. Очень существенное уменьшение!

Энергия связи электронов, в особенности самых внешних (их называют обычно валентными), играет очень большую роль во многих физических и химических явлениях и процессах. Ведь ее величина характеризует ту энергию, которая должна быть затрачена, чтобы вовсе отобрать электрон у атома, удалить его на бесконечно большое расстояние, что практически означает — достаточно далеко. После отрыва электрон становится, как говорят физики, свободным, уже не связанным с атомом. Такую же свободу приобретает космическая ракета, которой сообщается вторая космическая скорость,— она полностью рвет цепи земного тяготения. Впервые это случилось, как известно, при запуске первого советского «Лунника», 2 января 1959 года.

Атом, у которого отнят электрон (а тем более не один), называют ионом, а сам этот процесс отрыва электрона — ионизацией. Очевидно, что в результате ионизации вместо одной нейтральной частицы — атома — образуются две электрически заряженных: положительный ион и отрицательный электрон. Разумеется, суммарный заряд обеих частиц по-прежнему равен нулю, но теперь уже сумма-то оказывается фикцией, ибо оба заряда ведут совершенно самостоятельный образ жизни.

Обычно ионизация атома требует затраты значительной энергии — электрон прочно связан с атомным ядром. Именно поэтому многочисленные столкновения атомов и молекул не вызывают ионизации — средняя энергия столкновений меньше энергии ионизации.

Для того чтобы вызвать ионизацию сколько-нибудь значительного числа атомов, энергию их соударений нужно резко увеличить, то есть нужно сильно нагреть газ, повысить его температуру. В раскаленном газе уже значительная часть всех атомов окажется ионизированной, газ превратится в смесь стремительно движущихся во всех направлениях нейтральных атомов, ионов и электронов. Такое состояние вещества называют плазмой.

Чем выше температура, тем меньше остается в плазме нейтральных атомов. Если температура продолжает повышаться, то от атомов начинают отрываться и другие электроны. Миллионноградусные звездные температуры приводят к тому, что атомные ядра полностью лишаются своих электронных обо-

лочек. Большая часть всего вещества в природе существует именно в виде плазмы.

Но в мире иных констант, в котором связь электронов с атомным ядром сильно ослаблена, даже обычные соударения атомов будут приводить к их ионизации. Непосредственным следствием такой «сплошной» ионизации будет резкое изменение многих привычных явлений в этом мире.

Ведь даже окружающий нас воздух перестанет быть газом, он превратится в плазму. Но плазма, в отличие от обычного воздуха, электропроводна. Это изменение свойств воздуха приведет к неисчислимым бедам: оно сделает практически невозможной работу почти любого электротехнического устройства на Земле — проводником электрического тока станет воздух. Бороться с этим врагом — коротким замыканием — будет очень трудно, во многих случаях даже невозможно. Одно это обернется настоящей катастрофой для всего мира техники — остановятся автомашины, станки, троллейбусы. Человечество окажется лишенным своего верного помощника — электричества.

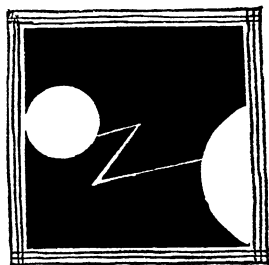
Не лучше будут чувствовать себя в ионизированном, плазменном воздухе и сами люди да и вообще всё живое на Земле. Дышать таким воздухом, вероятно, нельзя: высокая наэлектризованность воздуха, судя по имеющимся наблюдениям, сказывается на человеке крайне вредно, а при весьма большой концентрации ионов даже губительно. Можно думать, жизнь окажется невозможной.

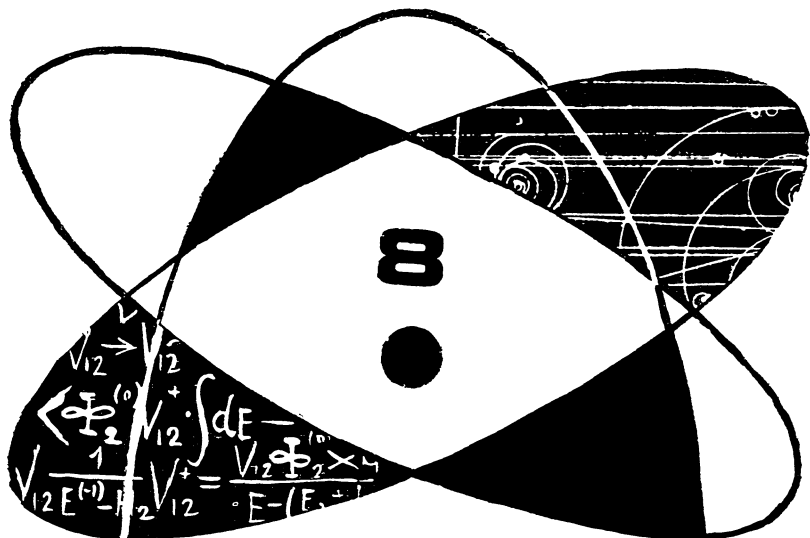
Кстати сказать, даже если бы дыхание «электрическим» воздухом оказалось возможным, от него было бы мало проку, ибо оно не выполняло бы своей физиологической функции. Ведь известно, что вдыхаемый нами кислород нужен для того, чтобы с его помощью в организме выделялась необходимая для существования энергия. Эта энергия освобождается внутри организма в ходе реакций окисления пищи, потребляемой человеком. Но в нашем мире иных констант энергия связи электронов сильно уменьшена, а это означает уменьшение энерговыделения при любых химических реакциях, в том числе, конечно, и реакции окисления.

Ведь так называемая химическая энергия выделяется при различных химических реакциях, например при обычном сгорании: в молекулах, образующихся в результате реакции, связь электронов с атомными ядрами оказывается более сильной, чем в исходных молекулах. Следовательно, химическая энергия и есть, по существу, освободившаяся в результате ре-

акции часть энергии связи электронов. И если эта энергия связи в мире иных констант оказывается во много раз меньшей, чем в реальном мире, то неизбежно уменьшится и энергопроизводительность любых химических реакций. Поэтому-то кислород, вдыхаемый из воздуха, уже не сможет при окислении пищи в организме выделить необходимое для поддержания жизни количество энергии. Жизнь окажется невозможной, во всяком случае, жизнь высокоорганизованных существ.

Конечно, мы назвали здесь лишь основные отличия мира иных констант, в котором уменьшена величина $\frac{e}{m}$, или величина удельного заряда электронов. Но и этого достаточно, чтобы оценить все значение постоянства этой важнейшей физической константы.





В НЕДРАХ АТОМА

ПЕРВЫЙ РАСКАТ ГРОМА ■ ДЖИНН ВЫ-
 ПУЩЕН ■ НАХОДКА ПЛАНКА ■ КВАН-
 ТЫ — «АТОМЫ ЭНЕРГИИ» ■ ЗАГАДКА
 ФОТОЭФФЕКТА ■ ДВОЙНАЯ «ДУША»
 КВАНТА ■ ЧТО ТАКОЕ «АШ» ■ АТОМ
 ВОДОРОДА «РАСШИФРОВАН» ■
 РАСКАЛЕННАЯ ЗЕМЛЯ ■ ОСЛЕПИ-
 ТЕЛЬНЫЙ ЗВЕЗДНЫЙ ШАТЕР ■ ЛУ-
 НА ЯРЧЕ СОЛНЦА ■ ГИБНУЩИЙ
 МЕРКУРИЙ ■ «ЧАСТИЦЫ-ВОЛ-
 НЫ» ■ ЭЛЕКТРОНЫ ВЕДУТ СЕБЯ
 КАК ВОЛНЫ СВЕТА ■ НОВАЯ
 МЕХАНИКА МИКРОМИРА ■
 ПЛАНЕТЫ СОШЛИ С ОР-
 БИТ ■ ЧЕЛОВЕК ВЫ-
 СОТОЙ В КИЛО-
 МЕТРЫ



Шел год 1900-й. Впереди был XX век, несущий с собой «революцию в естествознании», как говорил Ленин, невиданную ломку старых, казавшихся вечными и незыблемыми научных представлений. Но уже тогда, на заре века, раздался первый, еще слабый и неуверенный раскат грома — предвестник грядущей научной бури. Это было теоретическое исследование дотоле малоизвестного немецкого физика Макса Планка.

Впрочем, он меньше всего думал о джинне, которого выпускал из закупоренных тайников природы и которому суждено было вызвать грандиозную научную революцию. Осторожный и нерешительный, он вовсе не собирался превращаться в потрясателя основ. Вначале он просто не представлял себе подлинного смысла сделанного им открытия. А потом, когда другие ученые, опираясь на его «рабочую гипотезу» (так скромно и осторожно назвал Планк свое открытие), как на могучий рычаг, начали расшатывать устои классической физики и стройные колонны храма этой науки стали с грохотом рушиться, Планк, кажется, даже испугался совершенного им. И еще долгие годы он не только не верил сам в реальность сделанного им открытия, но не упускал случая предостеречь молодых ученых от возможной «ошибки». Планк считал, что он открыл лишь интересный и плодотворный метод теоретического исследования некоторых физических проблем, но никак не истинно существующие в природе закономерности.

Справедливости ради нужно сказать, что Планк был далеко не единственным ученым, трепетавшим перед начинавшейся бурей. Позже один из крупнейших физиков сказал, что «это было время творческих свершений, и в новых прозрениях были и восторг и ужас».

Не устоял и великий Эйнштейн — буревестник этой научной бури, — через пять лет после открытия Планка первым увидевший за его теоретическими построениями истинное лицо природы. Даже Эйнштейн, дерзко посягнувший в своей знаменитой теории относительности на основы основ классической физики, до конца жизни не мог полностью принять бесспорные, но казавшиеся «сумасшедшими» выводы, к которым пришла новая физика, логически развивая первоначальную идею Планка и самого же Эйнштейна.

Как-то, говоря о созданных им новых научных методах, Эйнштейн сказал: «Я ввел их как нечто непостоянное, как временную необходимость, и я не думал, что другие превратят эту необходимость в вечную добродетель...»

Что же открыл Планк? ¹

Его исследование касалось тонкой физической проблемы, связанной с электромагнитным излучением так называемого абсолютно черного тела (этим термином физики обозначают идеальный излучатель электромагнитных волн). При данной температуре тела оно может испускать электромагнитные волны различной частоты — и невидимые простым глазом (например, инфракрасные или ультрафиолетовые), и лучи видимого света (красные, желтые, голубые — в общем, всех цветов спектра). Излучение какой-либо одной частоты обладает определенной энергией; тело, излучающее такие лучи, теряет эту энергию. Можно ли теоретически вычислить, какова должна быть при данной температуре энергия, излучаемая телом на каждой из частот? Ведь только в этом случае теория могла бы претендовать на то, что она правильно понимает и описывает истинный процесс излучения.

Закон распределения энергии по частоте излучения, который давала прежде существовавшая теория ², не слишком хорошо согласовывался с данными опыта, а ведь, как известно, только опыт — окончательный судья всех теорий. Для более высоких температур излучающего тела согласие теории с опытом было, в общем, еще приемлемым, но при снижении температуры оно все ухудшалось, пока не наступало явное противоречие.

Объяснить его в рамках имевшейся теории физикам не удавалось.

Планк сумел получить теоретический результат, отлично согласующийся с опытом. Но для этого ему пришлось сделать одно предположение, казавшееся по меньшей мере парадоксальным: тело должно излучать энергию... порциями!

Самому Планку даже не приходила в голову мысль, что его «рабочая гипотеза» правильно объясняет истинный процесс излучения. Допустить, что излучение происходит именно так, физика того времени не могла, это казалось просто диким, противоречащим здравому смыслу. Вещество-то дискретно — оно состоит из отдельных частиц, но энергия?.. Ведь согласиться с этим значило принять, что тело может переходить из одного состояния в другое, характеризующееся новой энергией,

¹ Планк всегда был прогрессивным ученым и другом нашей страны. В 1926 году он был избран членом Академии наук СССР.

² Эта теория основывалась на общих положениях кинетической теории тепла, о которой рассказывалось в главе 6-й, так что постоянная Больцмана в определенной степени определяет и энергию излучения.

скачком, не проходя всех промежуточных состояний. Можно ли, например, представить себе такое увеличение размеров тела при нагревании, чтобы оно было малым, а потом сразу (скачком) стало большим, не имея всех промежуточных размеров? Явный абсурд! А ведь с энергией получается что-то в этом роде... Однако в мире атомов, в микромире, действуют свои, особые законы, и там подобные, кажущиеся невероятными «скачки» являются необходимыми и действительно происходят.

Если энергия излучается не непрерывно, а порциями, то, очевидно, должна существовать и наименьшая возможная порция энергии, излучаемой телом. Планк назвал такую порцию — своеобразный «атом энергии» — квантом («квантум» по-латыни — «количество»). Значит, нельзя уменьшить энергию тела на половину или восьмушку кванта? Почему? Каков механизм излучения? Какова величина кванта и в чем его роль в физике?

Ответы на эти вопросы были найдены великими революционерами в физике — Эйнштейном и Бором.

Эйнштейн не только впервые доказал, что излучение происходит именно дискретно, порциями, квантами (собственно, он и ввел понятие «квант света»), но и раскрыл важнейшую роль квантовых представлений во многих областях физики. Между прочим, именно им в 1917 году были открыты теоретические принципы так называемых квантовых генераторов электромагнитного излучения, получающих ныне все более широкое применение в виде лазеров и мазеров. Но даже Эйнштейн остановился на полпути...

Одно из блестящих теоретических исследований Эйнштейна, доказавших реальность существования квантов света, касалось открытого А. Г. Столетовым фотоэффекта. Помните, как в знаменитом опыте этого ученого (о нем шла речь в предыдущей главе) луч света, направленный на металлическую пластинку, как бы «выбивал» из нее некоторое количество электронов? Этот опыт убедительно доказал теснейшую связь электронов с атомами вещества. Но Эйнштейн впервые сумел объяснить количественную сторону фотоэффекта, бывшую до того загадкой для физики.

Действительно, сам факт такого действия света на металл, когда из последнего вырываются электроны, казался физикам совершенно естественным. Ведь свет, как это стало ясно со времени Максвелла, представляет собой электромагнитные колебания. Если они достаточно мощны, то электрические си-

лы, действующие на электроны в атомах металла, оказываются в состоянии разорвать связи электронов с атомными ядрами и вырвать электроны из металла. Но если это так, то чем сильнее, интенсивнее свет, тем, вероятно, с большей скоростью вылетают из металла электроны — ведь тогда больше и действующая на них сила. Кроме того, чем больше частота световых волн, тем, вероятно, менее эффективен процесс вырывания электронов: увеличение частоты означает ускоренную перемену направления действия электрической силы на электрон — она то вырывает электрон из металла, то толкает его обратно.

Увы, эти предположения оказались ошибочными. Интенсивность света никак не сказывалась на скорости вылетающих электронов: даже самый слабый свет приводил к тому, что они появлялись, менялось лишь их число. Увеличение же частоты световых волн приводило не к уменьшению, а к возрастанию эффективности вырывания электронов. Это никак не согласовывалось с твердо установленным волновым характером света. Образовался тупик...

Выход из него был найден Эйнштейном. Для этого достаточно было признать реальность предложенных Планком квантов. Если свет состоит из отдельных квантов, причем, как указал Планк, энергия кванта тем больше, чем выше частота света, то ясно, что число падающих квантов может влиять лишь на общее число вырываемых электронов, а энергия электронов (или их скорость) зависит лишь от энергии кванта, то есть частоты света.

Объяснение Эйнштейна оказалось точным и в количественном отношении. Кванты одержали свою вторую победу — первая, как вы помните, была связана с загадкой излучения абсолютно черного тела; причем интересно и важно, что величины квантов оказались одинаковыми в обоих случаях, как это, естественно, и должно быть при правильности теории.

Вслед за Эйнштейном многие другие ученые в различных опытах неопровержимо доказывали реальность квантов света, или фотонов, как их иначе называют. Советские физики А. Ф. Иоффе и Н. И. Добронравов установили существование световых квантов непосредственно в прямом опыте. Стало ясно, что свет обладает своеобразной двойственной природой: это и электромагнитные волны, то есть колебания электромагнитного поля, и корпускулы, частицы света — кванты, или фотоны. Понять эту двойственность физикам, воспитанным в правилах строгой определенности, однозначности, было не просто. Это была крутая ломка старых, классических представле-

ний. Но она была неизбежна, ибо именно такими оказались свойства реального мира. Это — одно из проявлений единства противоположностей, столь характерного для диалектического понимания природы.

Какова же величина порций излучения — квантов?

Планк получил замечательное по простоте и наглядности и вместе с тем исключительное по важности выражение для величины кванта:

$$E = h\nu.$$

Энергия кванта равна знаменитому «аш-ню»: произведению двух величин — постоянной h и частоты излучения ν . Чем больше частота электромагнитного излучения, тем больше величина кванта, то есть больше энергия излучения. Радиоквант меньше инфракрасного, квант зеленого света меньше фиолетового, а ультрафиолетовый меньше рентгеновского. Подобное влияние частоты излучения можно понять так: чем большее число волн излучает тело за секунду, тем больше оно затрачивает на это энергии.

Постоянная h , которой и посвящена эта глава, известна в науке как постоянная Планка, или как «квант действия». Это одна из важнейших фундаментальных констант современной физики, одна из так называемых мировых постоянных.

Абсолютная величина постоянной Планка очень мала. По современным данным, она равна примерно $6,63 \cdot 10^{-27}$ эрг \times сек¹. Кстати, обратите внимание на размерность: эрг \cdot сек, то есть произведение единицы энергии (эрга) на единицу времени (сек). Это и есть физическое «действие»: чем больше энергия процесса и больше время его протекания, тем больше «действие». Чтобы представить себе, как мал квант действия, можно привести такой пример. Когда стакан воды за секунду нагревается всего на 1°C, то этому соответствует «действие» в 10³⁰ квант. Невообразимо большое число — единица с тридцатью нулями!..

В повседневной жизни мы не задумываемся над величиной кванта действия — этого наименьшего возможного в природе

¹ Иногда применяют величину $\frac{h}{2\pi}$, называя ее постоянной Дирака, по фамилии известного английского физика, и обозначая через букву \hbar («аш с черточкой»): $\frac{h}{2\pi} = \hbar = 1,05 \cdot 10^{-27}$ эрг \cdot сек.

действия. Что нам от того, какова эта величина, да и вообще какое нам дело до событий в микромире — хватает своих «макрозабот»! Впрочем, объяснить, почему квант действия именно такой, а не какой-нибудь иной, пока не может и наука. А между тем, изменись величина постоянной Планка, и мы, пожалуй, сразу заметили бы это. Впрочем, мы в этом убедимся сами, когда совершим наше очередное путешествие в мир иных констант. Но до этого нам предстоит еще ответить на последний из поставленных выше вопросов. Каков механизм излучения квантов атомами? Где и как рождаются кванты в атоме? Где и как они поглощаются, попадая в атом? Как согласуется сам факт излучения и поглощения квантов с Резерфордской моделью атома, о которой говорилось в предыдущей главе?

Настало время сказать, что в гипотезе Резерфорда о планетарной модели атома, несмотря на всю ее плодотворность, далеко не во всем концы сходились с концами.

Прежде всего вызывало недоумение само устойчивое существование атома, созданного по такому «проекту», — по всем законам подобный атом имел право лишь на очень кратковременное существование. Действительно, движение электрона по крутой орбите, как всякое круговое движение, является ускоренным, но ускорение электрона связано с затратой его энергии¹ — она должна непрерывно уменьшаться в результате излучения электромагнитных волн (или, как мы теперь знаем, квантов света).

Неизбежным результатом такой потери энергии электрона должно стать постепенное приближение электрона к атомному ядру — именно так снижается искусственный спутник Земли, когда его энергия уменьшается в результате трения о разреженный воздух больших высот (в случае электрона этот воздух как бы заменяется электромагнитным полем). В конце концов электрон должен упасть на ядро, как спутник на Землю. Но тогда атом прекратит свое существование, а ведь этого вовсе не случается: атом, как мы знаем, обычно является исключительно устойчивой структурой. Но, может быть, расчет показывает, что такая катастрофа атома должна произойти через большой промежуток времени, ибо падение электрона происходит очень медленно? Вовсе нет, это падение должно длиться лишь несколько миллионных долей секунды.

¹ Ускоренное движение электрона эквивалентно переменному электрическому току, который создает в пространстве переменное же электромагнитное поле; на создание этого поля и затрачивается энергия.

Так в чем же дело?

Не менее поразительно и другое необъяснимое обстоятельство, установленное на опыте: оказывается, атомы излучают (и поглощают) световые волны не любой длины, а строго определенной для каждого химического элемента. Спектр излучения (и поглощения) данного атома является поэтому не сплошным: в нем присутствуют только строго определенные линии, соответствующие всегда одним и тем же частотам,— это своеобразный паспорт элемента.

Следовательно, каждый атом способен излучать и поглощать только кванты строго определенной энергии. Чем это объясняется? Очевидно, секрет должен быть связан с какими-то особенностями внутреннего «устройства» атома, но Резерфордовская модель объяснить это не могла.

Впрочем, его не могла бы объяснить и никакая другая модель атома, основанная на представлениях классической физики — «старой» электродинамики и «старой» механики. Чтобы решить новые загадки, поставленные природой перед учеными, нужны были и новые представления, радикально отличающиеся от «классических».

Так родилась новая модель атома, а вслед за ней и новая механика — механика атомного мира, сумевшая объяснить его особенности. Предложенный знаменитым датским физиком Нильсом Бором в 1913 году новый «проект» атома был основан на ядерно-планетарной схеме Резерфорда, но радикально отличался от нее устройством электронной оболочки. Бору удалось объяснить истинный механизм излучения и поглощения света атомом; его теория блестяще прошла проверку экспериментом — количественное согласование было практически идеальным. Была разгадана еще одна загадка природы, и атом Бора навсегда вошел в число непререкаемых научных истин.

Как же согласовал Бор планетарную модель атома с квантовыми представлениями?

Для этого ему пришлось сделать несколько важных предположений и догадок. Прежде всего, очевидно, двигаясь по некоторым вполне определенным орбитам внутри атома, электрон не должен излучать свет, иначе ведь не объяснишь замечательной устойчивости атома. Конечно, это расходится со «старыми» законами, но... тем хуже для этих законов; такие орбиты Бор назвал стационарными. Как видно, электроны в атоме совсем не похожи в этом отношении на спутников Земли: ведь спутники могут находиться на любой, какой угодно круговой орбите, тогда как для электрона существует лишь

строго определенный «набор» стационарных орбит — ни выше, ни ниже, ни на малом, ни на большом расстоянии от этих орбит электрон существовать не может: он там никогда, даже на короткое время, не бывает.

Бору удалось установить, что представляют собой стационарные орбиты для случая одного-единственного электрона, обращающегося вокруг ядра атома водорода¹.

Оказывается, электрон может находиться только на тех орбитах, для которых энергия электрона (и, следовательно, скорость его движения) приобретает строго определенные значения. И эти значения, так называемые уровни энергии электрона, оказываются тесно связанными с постоянной Планка! Позже мы узнаем, в чем именно заключается эта связь.

Затем Бор сделал и последний шаг: он установил, как именно происходит излучение (и поглощение) света атомом. Оказывается, свет излучается тогда, когда электрон переходит с одной стационарной орбиты на другую, с более отдаленной от ядра на более близкую к нему, с внешней на внутреннюю. При таком переходе (как бы падении на ядро) энергетический уровень электрона уменьшается, ибо чем дальше электрон от ядра, тем больше его энергия. Образовавшийся избыток энергии электрон и отдает в виде излучаемого атомом кванта света — фотона; при обратном переходе квант поглощается. Причем все уровни электрона в атоме как раз таковы, что при переходе с одного на другой атом излучает или поглощает только целый квант (или кванты) той или иной возможной частоты, тем большей, чем больше разница энергетических уровней. Долей кванта не бывает, поэтому нет и никаких других орбит электрона, кроме разрешенных. Лишь одна, самая нижняя, ближайшая к ядру стационарная орбита является основной; раньше или позже электрон обязательно возвращается на эту орбиту.

Ну, теперь мы можем наконец отправиться в наше долгожданное путешествие в мир иных констант, в котором постоянная Планка имеет в сто раз большую величину, чем в действительности. Может быть, это слишком много — сто раз? Но вспомните, что такое увеличение приведет лишь к тому, что число, выражающее величину постоянной Планка, будет содержать не 27, а 25 нулей после запятой. Только и всего...

¹ Для более сложных ядер эта задача гораздо труднее и решена еще не до конца. В качестве средних величин можно принять, что скорость движения электрона вокруг ядра равна $2 \cdot 10^8$ см/сек и на один оборот (один «электронный год») он затрачивает примерно $0,5 \cdot 10^{-15}$ сек.

...Сколько времени прошло с того момента, как начался этот ужасный мировой катаклизм? Часы, дни? Этого никто не знает, хотя уже известно, что именно произошло. По неведомой, необъяснимой причине постоянная Планка увеличилась в сто раз. Какие катастрофические последствия для Вселенной вызвало это неожиданное увеличение! Потрясены ее основы — от микромира до мира звезд и галактик...

Может быть, сильнее всего на Земле отразилось изменение солнечного излучения — ведь теперь каждый квант, посылаемый Солнцем на Землю, обладает в сто раз большей энергией. Мы видим мир в той же цветовой гамме, ибо частоты квантов не изменились, — небо по-прежнему синее, а трава зеленая, но Земля получает теперь в сто раз больше энергии от Солнца — она как бы оказалась на расстоянии, в десять раз меньшем от него (ведь интенсивность излучения уменьшается как квадрат расстояния).

Даже на Меркурии, который находится на расстоянии в среднем 58 миллионов километров от Солнца, температура на обращенной к нему поверхности достигает 400°C. Там могут быть озера из расплавленного свинца и других металлов. А Земля теперь получает столько же солнечного тепла, как если бы ее отделяло от Солнца всего 15 миллионов километров, то есть она как бы почти вчетверо ближе к Солнцу, чем Меркурий. Жара на земной поверхности стала невыносимой — температура достигает тысяч градусов! Гибнет все живое, растаяли полярные льды, уровень Мирового океана поднялся на десятки метров. Плавится земная кора там, где она еще обнажена, всюду озера расплавленной лавы, курятся горные вершины, одиноко торчащие из бурлящей, кипящей воды...

Если подняться ночью над толстым слоем облаков, можно увидеть необычное звездное небо. Звезды нестерпимо сверкают, на самые яркие даже трудно смотреть. Знакомый звездный узор исчез, небо полно мириадом невиданных звезд, образующих сплошное сверкающее покрывало. Ранее слабые, невидимые, звезды шлют теперь на Землю в сто раз больше света и стали хорошо видны.

Ослепительно горит на небе (ярче Солнца) Луна, превращая ночь в день. И все же даже такой свет не затмевает блеска звезд. Луна не защищена атмосферой, и все многократно увеличенное солнечное излучение достигает ее поверхности. На освещенной Солнцем стороне Луны температура намного выше, чем в топке любого котла. Эта часть лунного диска потеряла свои четкие очертания — она окутана клубящимися об-

лаками паров и газов. А темная часть Луны по-прежнему скована космическим холодом. И потом... Кажется, лунный диск быстро увеличивается в размерах? Неужели это так? Чем же это вызвано?

Мы не видим простым глазом, что происходит на планетах Солнечной системы, но легко можем догадаться. Меркурий, оказавшийся как бы в непосредственной близости от Солнца (что значат в этом случае какие-нибудь 5—6 миллионов километров!), стремительно испаряется, быстро уменьшаясь в размерах,—его часы сочтены. То же ждет, в общем, и Венеру, только это произойдет несколько позже. Холодный Марс оказался в «сверхтропическом» климате, и на нем температура возросла до сотен и тысяч градусов. Все живое на Марсе, если оно там было, тоже погибло. Лучше обстоят дела на более отдаленных планетах, кстати теперь хорошо видимых невооруженным глазом. На Юпитере стало жарче, чем на Венере: там происходят бурные атмосферные процессы. И даже далекий Плутон с его замерзшей атмосферой «ожил» — ведь он стал как бы ближе к Солнцу, чем Юпитер.

Но не только раскаленные лучи Солнца, ставшие губительными, преобразили мир. Произошло еще одно, может быть, даже более страшное изменение: массы всех тел во Вселенной возросли в сто раз — точно во столько же, как и постоянная Планка!

Но почему?

Какая таинственная связь делает общей судьбу массы любого тела и постоянной Планка?

Эта связь заключена в наиболее глубинных и фундаментальных свойствах материи. Раскрыть ее смогла лишь новая теория атомного мира, о которой мы уже говорили,— теория, получившая название квантовой.

Помните, как Эйнштейн, развивая гипотезу Планка о квантах, пришел к заключению о двойственной природе кванта света, сочетающего в себе свойства волны и частицы?

Бор использовал эти представления для создания своей модели атома. Но затем прошло еще целое десятилетие до того, как был сделан следующий решительный шаг в этом же направлении. Этот шаг был сделан молодым французским физиком Луи де Бройлем в 1924 году.

Де Бройль предположил, что свойствами «волны-частицы» обладает не только квант света — фотон, но и электрон и любая другая элементарная частица. Мало того, такой же двойственностью свойств обладают вообще все вещества в при-

роде. Только у макрочастиц эта двойственность практически не проявляется, волновые свойства не сказываются, тогда как в микромире, мире элементарных частиц, она играет важнейшую роль.

Не удивительно, что двойственность свойств элементарных частиц, когда эти частицы в одних обстоятельствах ведут себя как волны, в других — как корпускулы, то есть собственно частицы материи, приводит к тому, что основные качественные характеристики частиц тоже носят двойственный характер. Чтобы охарактеризовать корпускулярные свойства частицы, мы должны назвать ее массу; волновые же свойства, естественно, характеризуются некоторой длиной волны. Эта неразрывно связанная с каждой элементарной частицей волна получила в физике название «волна де Бройля».

Поскольку и масса и длина волны де Бройля относятся к одной и той же «волне-частице», то вполне естественной является тесная взаимосвязь между этими двумя важнейшими количественными характеристиками. И, как выяснилось, эта взаимосвязь определяется именно величиной постоянной Планка — масса частицы оказывается пропорциональной этой постоянной и обратно пропорциональной длине волны де Бройля¹. Чем больше масса, тем меньше длина волны де Бройля — вот почему для макрочастиц волновые свойства оказываются практически незаметными. Действительно, если для электрона, например, длина волны де Бройля равна примерно 10^{-9} см, то для частицы массой в 1 г — в 10^{27} раз меньше (поскольку масса электрона равна 10^{-27} г), то есть всего 10^{-36} см. Разумеется, что существование волны такой ничтожно малой длины невозможно установить опытом.

Именно то обстоятельство, что электрон обладает некоторой вполне определенной длиной волны де Бройля, и является причиной существования строго определенного «набора» стационарных орбит для его движения вокруг атомного ядра. Грубо говоря, электрон может находиться лишь на такой орби-

¹ Эйнштейн установил хорошо известную эквивалентность массы m и энергии E по уравнению $E=mc^2$ (здесь c — скорость света). С другой стороны, как об этом говорилось выше, Планк открыл для кванта зависимость энергии от частоты излучения $E=h\nu$. Де Бройль, распространив эту зависимость Планка на все элементарные частицы, легко получил из обоих выражений связь m и ν , именно $m = \frac{h\nu}{c^2}$. Очевидно, частота ν есть

величина, обратная длине волны де Бройля λ , то есть $\lambda = \frac{c}{\nu}$.

те, на которой его волна де Бройля укладывается целое число раз. Следовательно, длина орбиты должна быть кратной длине волны де Бройля¹.

Вскоре после появления теории де Бройля волновые свойства электронов были обнаружены и экспериментально. Была открыта так называемая дифракция электронов², электроны вели себя в этом смысле точно так же, как и обычный свет, точнее, как очень коротковолновые лучи — рентгеновы (просто потому, что длина этих лучей такова же, как длина волны де Бройля для электрона). Квантовая механика получила право на существование. Дальнейшее ее развитие трудами многих ученых сделало ее непререкаемой научной истиной, столь велики успехи, одержанные физикой с ее помощью.

Но вернемся к нашему миру иных констант. Теперь ясно, почему увеличение постоянной Планка в сто раз привело к такому же увеличению массы всех частиц, то есть, в конце концов, массы всех тел во Вселенной.

Пожалуй, самые неприятные последствия вызвало увеличение массы звезд. Колоссально возросшее давление и температура в их недрах в результате сжатия под действием увеличившегося тяготения внешних слоев привели к коренному изменению хода термоядерных реакций. Для многих звезд это оказалось роковым: число вспышек новых и сверхновых звезд стало стремительно возрастать, звезды становились нейтронными. Эти грандиозные «вселенские» катастрофы, бывшие доселе сравнительно редкими, стали массовыми. Вследствие этого Вселенная пронизывается мощнейшими потоками космических лучей — немymi свидетелями происшедших гигантских звездных взрывов.

Только какое-то чудо спасло Солнце от такой же судьбы, иначе не только Меркурий и Венера, но, вероятно, и Земля

¹ Мы здесь не касаемся того обстоятельства, что движение электрона по орбите никак не может быть уподоблено движению спутника вокруг Земли; в квантовой механике вообще нет понятия траектории. По существу, электрон скорее можно представить себе как бы «размазанным» по всей электронной оболочке. Об этом читатели смогут узнать детальнее из научно-популярных книг по квантовой теории.

² Дифракцией называется отклонение света от прямолинейного распространения, огибание волнами преград, например краев отверстий; для частицы, естественно, такого явления быть не может. В результате опытов с дифракцией электронов на кристалле удалось получить и точную величину длины волны де Бройля для электрона. Дифракция электронов через три года после опубликования работы де Бройля была открыта на опыте американскими физиками Дэвиссоном и Джермером. Дифракцию дают также атомы и молекулы.

оказалась бы погруженной в стремительно расширяющуюся при взрыве солнечную оболочку. Правда, это уже вряд ли так сильно изменило бы условия, создавшиеся на нашей брэнной планете.

Ее часы были сочтены...

Ведь увеличение массы Солнца вызвало возрастание притяжения к ней. Теперь уже скорость Земли в ее движении вокруг Солнца (она равняется примерно 30 км/сек) оказалась намного меньшей, чем необходимая для сохранения постоянной орбиты. И Земля, сойдя со своего извечного пути в космосе, понеслась со все возрастающей скоростью к Солнцу.

Увеличилась в сто раз и масса самой Земли, подписав тем самым приговор Луне. Наше ночное светило также доживает последние дни или даже часы. Луна покинула свою околоземную орбиту и с высоты более 380 000 км устремилась к Земле. Вот почему так быстро увеличиваются размеры лунного диска, который мы увидели, поднявшись над слоем облаков. Может быть, Луне посчастливится уклониться от прямого удара о Землю — удара, который оказался бы губительным для них обоих. Но даже в этом случае неминуемо разрушение Луны под действием сил тяготения на множество осколков в тот момент, когда она, приближаясь к Земле, перейдет невидимую, но роковую для всех небесных тел границу, ближе которой сопротивление приливным силам уже невозможно.

Губительным оказалось возрастание массы Земли и для всего находящегося на ее поверхности. Даже не будь ничего иного, одно это сделало бы жизнь на Земле, вероятно, невозможной. Подумайте сами, наш вес возрос до 600—800 т! Не выдерживая столь увеличенной тяжести, ломаются лапы животных, крылья птиц, стволы деревьев. Рушатся дома, ломаются машины. Давление в недрах Земли, сжатой в сто раз большей силой тяжести, стало огромным; сильно повысилась и температура недр; начались грозные тектонические явления — вулканические извержения, землетрясения.

И еще. Атмосферное давление на поверхности Земли выросло тоже в 100^2 раз — ведь во столько раз увеличился вес воздуха над нами. Это внезапное повышение барометрического давления до 10 000 атмосфер привело к гибели почти всего живого на Земле, вызвало разрушение машин и механизмов. Даже небольшой ветер сметает с лица Земли все находящееся на ней, теперь он стал страшнее любого урагана: напор воздушного потока возрос в колоссальной степени и потому, что частицы воздуха стали в сто раз массивнее, и потому, что

возросло число этих частиц в единице объема. Разве только в одном повышении атмосферного давления оказалось благотворным: оно замедляет испарение океана. Ведь чтобы вода закипела при большом давлении, ее нужно нагреть значительно сильнее.

Да, слов нет, мир оказался совсем не безразличным к увеличению постоянной Планка. Катастрофические изменения во Вселенной, вызванные увеличением постоянной Планка, поневоле заставляют согласиться с тем, что это действительно мир **о в а я** постоянная.

А если постоянная Планка не возрастет, а, наоборот, уменьшится в те же сто раз, то, может, мир станет не хуже, а лучше нынешнего? Ну что ж, в наших силах поставить и такой «эксперимент».

...Внезапно Солнце, ярко сиявшее в зените неба знойным летним днем, как бы погасло. Оно стало тусклым и бледным, теперь на него свободно можно смотреть незащищенным глазом. Солнечные лучи уже больше не греют своим теплом, и, хотя все краски окружающей природы сохранились, они как бы посерели. Мир кажется темным, холодным и мрачным — так сказалось стократное уменьшение энергии, которую Солнце шлет на Землю. Печальная участь ждет Землю: ведь теперь она получает столько тепла, сколько раньше получал... Нептун. Впереди неизбежное сплошное оледенение...

Небо тускло и совершенно безоблачно. Но, несмотря на это, ни одна звездочка не светится ночью в бездонной черноте, только едва видимая Луна напоминает о прежнем чудесном ночном небосводе.

Но куда более губительным, чем уменьшение интенсивности солнечного излучения, оказалось стократное уменьшение массы всех тел, вызванное тем же уменьшением постоянной Планка. Из-за уменьшения массы Солнца давление и температура в его недрах катастрофически снизились, и это привело к прекращению знаменитой «солнечной» термоядерной реакции, являющейся источником энергии, излучаемой Солнцем. Солнце угасло, угасли и почти все другие звезды.

Уменьшение притяжения к Солнцу изменило извечные орбиты планет. Скорость их движения вокруг Солнца оказалась теперь намного большей, чем круговая. Сойдя с орбит, планеты стали по гиперболам стремительно удаляться от Солнца. Пройдет некоторое время, и Солнце навсегда лишится своей «семьи». Одинокو будет плыть в космосе погасшее све-

тило, а где-то далеко от него в разные стороны будут мчаться бездомные планеты навстречу своей неизвестной судьбе.

Та же судьба постигла и Луну. Расставшись навсегда и с Землей и с Солнцем, Луна тоже превратилась в вечного странника Вселенной. Сколько их теперь, этих странников, бывших планет и их спутников, осколков разбитых вдребезги планетных систем!..

Из-за уменьшения массы Земли и нашей собственной массы в сто раз наш вес, как и вес всего, что находится на поверхности Земли, уменьшился в 100^2 , или в десять тысяч раз. Мы весим всего несколько граммов! Можно думать, что это создаст весьма неожиданные ситуации. Вероятно, ничего не стоит, например, перепрыгнуть через Москву-реку или, при некоторой тренировке, прыгнуть прямо с тротуара в открытое окно своей комнаты на девятом этаже. Ведь что значит для мышц, привыкших к обычному весу, какие-то несколько граммов? Однако дело обстоит не совсем так. Сила наших мышц, «действие», которое они способны произвести, складывается из бесчисленного множества «микродействий», а они-то уменьшены в сто раз. В основе энергетических процессов в мышце лежат все те же квантовые явления, то есть и они определяются величиной постоянной Планка.

Ожидание необычной и столь заманчивой легкости оказывается, таким образом, оправданным лишь частично. Зато реальным и, нужно признаться, крайне неприятным является другое следствие уменьшения силы тяжести на Земле. Атмосферное давление также уменьшилось в 100^2 раз! Первые же мгновения пребывания в такой сверхразреженной атмосфере, почти в космическом вакууме, должны быть поистине адскими.

Да, вряд ли уменьшение постоянной Планка лучше, чем ее увеличение.

Однако правильны ли все наши рассуждения о следствиях изменения постоянной Планка? Конечно, если частоты всех излучений в природе останутся при таком изменении прежними, равно как и длины всех волн де Бройля, то все произойдет именно так, как описано выше. Тогда действительно изменится энергия всех квантов, ибо эта энергия равна произведению постоянной Планка на частоту, и если частота не меняется, то энергия меняется так же, как и постоянная Планка. Изменится тогда и масса всех частиц (и состоящих из них тел, естественно). Но ведь с равным, если не с большим правом можно предположить, что при изменении постоянной Планка останутся неизменными как раз энергия и масса, а частоты излучений,

как и длины волн де Бройля, изменят свою величину. Тогда мир иных констант с измененной величиной постоянной Планка будет выглядеть совсем иначе.

На самом деле, Солнце и звезды будут излучать прежнее количество энергии, массы всех тел сохранятся, сохранятся, очевидно, и извечные траектории движения небесных тел. Ну, а изменение частот излучения — как скажется оно?

В мире с увеличенной постоянной Планка частоты всех электромагнитных излучений уменьшатся в сто раз, спектр электромагнитных волн получит очень сильное «красное смещение». Видимый свет станет инфракрасным, рентгеновы лучи станут видимыми. Каким же странным должны мы увидеть в этом случае окружающий мир! Ведь увидеть мы, очевидно, сможем лишь те предметы, которые испускают рентгеновы лучи.

Впрочем, утверждать этого нельзя. Все зависит от того, на что именно реагирует наше зрение — на частоту кванта или на энергию. В нашем мире это различие не имеет значения, ибо частота и энергия строго связаны между собой. Но в мире иных констант эта связь нарушится. Если в основе восприятия света лежит не частота, а энергия кванта, то даже внешне видимый мир не претерпит никаких изменений.

Что же получается: постоянная Планка так же не сказывается на устройстве мира, как и постоянная Больцмана, о которой шла речь в главе 6-й?

Нет, дело обстоит совсем не так.

Вспомните: в атоме Бора электроны могут находиться лишь на строго определенных, так называемых стационарных орбитах. Радиусы этих орбит тесно связаны с постоянной Планка — они прямо пропорциональны квадрату этой постоянной. Поэтому когда постоянная Планка в мире иных констант увеличится в сто раз, радиусы электронных орбит в атомах увеличатся в 100^2 , то есть в десять тысяч раз, а при уменьшении постоянной Планка во столько же раз уменьшатся¹.

Но изменение радиусов электронных орбит есть не что иное, как изменение размеров атомов! И если эти размеры так сильно изменятся, то соответственно изменятся и размеры всех макроскопических тел, в том числе Земли, даже Солнца и звезд (хотя они и не являются твердыми телами). Значит,

¹ Это правильно лишь для атома водорода. Для более сложных атомов теория Бора не дает правильных количественных выражений, но качественная зависимость сохраняется.

рост человека в мире иных констант будет равен километрам, если постоянная Планка возрастет, или же миллиметрам, если она уменьшится. И соответственно плотность человеческого тела (ведь масса сохранится неизменной) станет в миллиарды раз меньше нынешней, то есть такой же, как плотность разреженного воздуха на больших высотах, или же, наоборот, в миллиарды раз большей — больше, чем в недрах «белых карликов».

Земной шар либо увеличится в диаметре так, что не только поглотит Луну, но и будет простирается почти до Солнца, либо его диаметр станет равен всего одному-двум километрам.

А Солнце?

Оно либо «раздуется» настолько, что поглотит все планеты Солнечной системы, либо сожмется до размеров меньше нынешней Земли.

Ну что ж, может быть, хватит с нас мира иных констант с измененной в сто раз постоянной Планка? Как говорится, все ясно...

И все же хочется рассказать еще об одной неожиданной роли этой всемогущей мировой константы — постоянной Планка. Пожалуй, именно с этой ролью, непосредственно вытекающей из выводов новой механики микромира — квантовой, до сих пор связаны наиболее жаркие дискуссионные баталии ученых. Да, нелегко привыкнуть к некоторым «сумасшедшим» следствиям новых идей в физике...

Один из создателей квантовой механики, немецкий ученый Вернер Гейзенберг, в 1927 году получил теоретическим путем весьма важное соотношение, известное в физике как «соотношение неопределенностей». Не удивительно, что оно вызвало такую бурю страстей: из этого соотношения непосредственно вытекало, что ни в одном случае даже принципиально невозможно точно определить одновременно скорость и положение какой-либо движущейся микрочастицы. Вдумайтесь в это. Дело не в том, что нельзя измерить скорость и положение потому, что для этого нет соответствующих мерных устройств, приборов, установок. Суть совсем в другом: просто не существует точных значений этих интересующих нас величин, их нет на самом деле.

Сразу нельзя даже понять, представить себе, о чем же тут, собственно, идет речь. То есть как это частица не имеет точного положения или не имеет точной величины скорости? Ведь когда движется, например, бильярдный шар по столу, или

пуля в воздухе, или Земля вокруг Солнца, то во всех этих случаях и во множестве других мы в любое мгновение можем при желании и необходимости точно указать, где находится движущееся тело и какова его скорость. Да и как иначе, если тело последовательно переходит из одного положения, с одной величиной скорости, в другое, соседнее положение, с соответственно новым значением скорости, и весь этот процесс движения неизменно непрерывен в пространстве и времени?

Но разве весь имеющийся у нас горький опыт не заставляет снова и снова проявлять крайнюю осторожность при переносе обычных представлений макромира в полный «странностей» микромир?

Оказывается, те же законы квантовой механики, которые не позволяют электрону находиться где-то «на полпути» между стационарными орбитами в атоме или сообщают электрону одновременно как будто взаимно исключающие друг друга свойства частицы и волны, делают «неопределенными» положение и скорость электрона да и любой другой микрочастицы. И опять-таки, как это уже не раз было и раньше, такое следствие законов квантовой механики, как и все другие, проявляется и в макромире, но тут его проявление практически незаметно, ничтожно.

Другое дело — микромир.

Гейзенберг установил, что чем точнее мы хотим определить, зафиксировать положение частицы (а мы можем стремиться достичь здесь сколь угодно большой точности и определенности), тем с меньшей точностью будет определена скорость частицы. Количественно эта закономерность выражается так, что произведение обеих неточностей (в определении положения и скорости) всегда оказывается равно (или больше) некоторой постоянной величине, поэтому-то и получается, что чем меньше одна неточность, тем больше другая. Если, например, одна величина, допустим, положение частицы, определена совершенно точно, то есть неточность ее определения равна нулю, то неопределенность определения второй величины, в данном случае скорости, станет равной бесконечности (только произведение нуля на бесконечность может быть конечным). Это значит, что скорость частицы может быть любой — от нуля до бесконечности, любое значение будет вполне равноправным.

Какой же постоянной величине равно (или больше) произведение обеих неопределенностей? Оказывается, эта постоянная есть частное от деления постоянной Планка на массу

частицы. Опять постоянная Планка! И кстати, теперь ясно, почему соотношение неопределенностей не играет практической роли в макром мире: когда масса велика, то произведение неопределенностей оказывается очень малым, вследствие чего обе величины — и положение и скорость — могут быть определены с весьма высокой точностью.

Соотношение неопределенностей раскрыло многие загадки микромира. Вот, например, одна из них. Физикам было известно, что при радиоактивном распаде ядер некоторых атомов испускаются электроны (такой процесс получил название бета-распада). Значит ли это, что электроны находятся в ядре, что ядро состоит также из электронов? Одно время так и считали. Но соотношение неопределенностей показывает, что это невозможно.

Действительно, заключить электрон в ядро — это значит зафиксировать его положение с точностью, определяемой размерами атомного ядра. Но тогда неопределенность скорости электрона оказывается столь большой, что он неминуемо вылетит из ядра, удержаться там не сможет. Поэтому физики вздохнули с облегчением, когда был открыт нейтрон. Именно нейтроны, как это впервые предположил советский физик Д. Д. Иваненко, наряду с протонами составляют «строительный материал» ядра. Электроны же, вылетающие из распадающегося атомного ядра, образуются в процессе радиоактивного распада.

А вот еще одно, может быть, несколько неожиданное следствие соотношения неопределенностей. Общеизвестно, какие огромные размеры имеют ускорители элементарных частиц, сооружаемые для современных лабораторий атомной физики. В новых установках такого типа, строящихся в Советском Союзе и за рубежом, длина окружности канала, в котором разгоняются до околосветовых скоростей элементарные частицы, или длина такого же прямолинейного канала в так называемых линейных ускорителях измеряется уже не метрами, а километрами! Нетрудно представить себе и сложность и стоимость подобных установок (вес магнитов установки достигает десятков тысяч тонн!). Не удивительно, что их сооружение под силу лишь наиболее развитым промышленным государствам и даже группам государств. Но обойтись без огромных размеров пока не удастся (хотя попытки решить эту задачу и делаются), иначе не достигнешь необходимой колоссальной скорости разгоняемых частиц.

Однако зачем необходима такая невиданная и дорогостоя-

щая скорость? Почему ученые настойчиво борются за все большее приближение к скорости света?

Ответ на этот вопрос и дает соотношение неопределенностей, именно оно — непосредственный виновник неизбежных огромных размеров ускорителей. Если не считать, конечно, истинной первопричины — неудержимого стремления ученых проникнуть в самые сокровенные тайны природы.

Как известно, с помощью ускорителей уже удалось раскрыть много секретов строения атомных ядер и элементарных частиц. Ускорители стали бесценным по значению оружием науки: создаваемые с их помощью потоки ультракрохотных «снарядиков» проникают в самые недра материи и рассказывают о ее тайнах. Представить себе современную физику без ускорителей элементарных частиц просто невозможно. Синхротроны, циклотроны и другие ускорители стали одним из подлинных чудес света нашего времени.

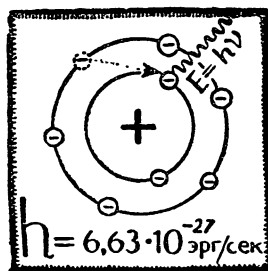
Но на пути в глубины микромира невидимой преградой встало соотношение неопределенностей. Его неумолимый приговор гласит: если нужно проникнуть внутрь все меньших частиц вещества, если требуется зондирование материи во все меньших и меньших масштабах пространства, изучение процессов, происходящих в течение все меньших промежутков времени, то скорость бомбардирующего вещество «снарядиков» — элементарных частиц — должна становиться все большей. Действительно, ведь скорость частицы и ее положение в пространстве строго связаны между собой соотношением неопределенностей: если нужно обеспечить точное «попадание» частицы, то есть ее точную ориентацию в пространстве, придется увеличивать скорость, чтобы произведение неопределенностей в значениях обеих величин оставалось прежним.

Так природа воздвигает один и тот же барьер — энергетический — на пути науки, атакующей тайны Вселенной, на ее обоих «полюсах»: в микромире и в космосе. Чем дальше в глубины космоса проникает человек, тем больше должна быть мощность используемых им космических ракет. И чем глубже в недра микромира, тем больше должна быть энергия проникающих в эти недра элементарных частиц — своеобразных исследовательских «микроракет» ученого...

Кстати сказать, такая аналогия ведущихся современной наукой исследований микромира и космоса может быть продолжена. Несколько неожиданно эта аналогия проявляется еще и в той критике, которой иной раз подвергают ныне исследователей, работающих в обоих указанных направлениях.

Нередко раздаются голоса, протестующие против интенсивного развития этих исследований как весьма дорогостоящих. По мнению подобных критиков, значительные средства, расходуемые как на космические исследования, так и на исследования микромира, целесообразнее направить на решение других актуальных задач современной науки и техники — таких задач действительно немало. К чему, говорят эти критики, эти настойчивые поиски нового в «далеких краях» — в субатомном мире элементарных частиц и в глубинах космоса, — когда столько еще важнейших дел осталось в непосредственно окружающем нас обычном макромире...

Вряд ли нужно здесь спорить с критиками. Не только крупнейшие представители современной науки, но и все прогрессивное человечество отчетливо представляет себе и фундаментальное научное значение ведущихся «спорных» исследований, и их несомненный большой потенциальный прикладной, практический выход. В истории физики еще не было случая, чтобы крупное научное открытие не приносило впоследствии значительных практических результатов. Тем более это относится к тем исследованиям, о которых идет речь: их фундаментальный характер обещает практические следствия колоссальной значимости. Пока, конечно, эти следствия трудно себе представить во всей полноте, но в таких пророчествах нет и нужды. Что же говорить о неумном стремлении людей глубже познать природу, раскрыть ее тайны, овладеть ее стихийными силами? Без такого стремления человек не был бы человеком.





САМАЯ УДИВИТЕЛЬНАЯ СКОРОСТЬ

9

**МИР ДВИЖЕНИЯ ■ ЗВЕЗДЫ-ЭКСПРЕС-
СЫ ■ БЕСПОРНАЯ, НО... ОШИБОЧНАЯ
ИСТИНА ■ НИ НА ЧТО НЕ ПОХОЖАЯ СКО-
РОСТЬ ■ «СВЕРХСВЕТОВОЕ» ИЗЛУЧЕНИЕ ■ КАК
МОЖНО НАЙТИ СКОРОСТЬ СВЕТА, НЕ ИМЕЯ ДЕ-
ЛА НИ СО СКОРОСТЬЮ, НИ СО СВЕТОМ ■ ЧУ-
ДЕСНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ МАССЫ ■ НЕИССЯКАЕМЫЕ
КЛАДОВЫЕ ЭНЕРГИИ НА ЗАМКЕ ■ НИЧТО НЕ ПРЕВРА-
ЩАЕТСЯ В НИЧТО ■ «ПАРАДОКС БЛИЗНЕЦОВ» И МЕЖ-
ЗВЕЗДНЫЙ ПОЛЕТ ■ МИР В «РЕНТГЕНОВСКОМ» СВЕТЕ ■
ГУБИТЕЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ СОЛНЦА ■ ЗВЕЗДЫ УГАСЛИ ■**

Вселенная не знает покоя. Она вечно живая, изменяющаяся. Все в ней движется, распространяется, развивается. Не удивительно, что в этом царстве вечного движения одним из самых важных физических понятий является скорость.

Но точно так же, как безгранично разнообразны формы движения в природе, качественно различны и относящиеся к ним понятия скорости. Мы говорим: скорость падения камня, скорость роста цветка, скорость химической реакции... Всюду — скорости, но как различны они по своей сути! Это и скорость физическая, например скорость механического движения, и скорость химических, биологических, общественных процессов...

Пожалуй, проще всего иметь дело именно с физической скоростью.

Чтобы узнать величину скорости, нужно иметь в руках два измерительных прибора: метр и часы. Конечно, если скорость не постоянна, то дело несколько усложняется, но и тогда нетрудно определить среднюю скорость за данное время или на данном отрезке пути.

Точно так же решается, конечно, задача, когда нужно определить скорость собственного движения. Наверное, многим приходилось наблюдать, как на тренировках легкоатлеты или конькобежцы бегут с секундомером в руках. Старт! — секундомер включен. Финиш! — секундомер выключен. Столько-то метров пройдено за столько-то секунд — вот вам и скорость.

Однако как быть, если беговая дорожка сама... движется? Существуют, например, движущиеся тренировочные легкоатлетические полигоны, есть и специальные станки для тренировки велосипедистов. Но такие приспособления все-таки сравнительно редки, а вот в поезде ездил почти всякий. И всякий, конечно, сумеет определить свою скорость при движении по коридору вдоль вагона. Но тут уже, разумеется, придется иметь дело с двумя значениями скорости: относительно самого вагона и относительно железнодорожного пути. Никого, надо полагать, не удивит то обстоятельство, что хотя скорость движения пассажира внутри движущегося вагона составляет, например, 6 км/час , относительно железнодорожного пути он движется со значительно большей скоростью, например 60 км/час . Значит, за одну и ту же минуту пассажир по вагону проходит 100 м , а километровые столбы, стоящие вдоль пути, засвидетельствуют, что путь пассажира равен вовсе не 100 , а 1000 м .

Какова же истинная скорость пассажира — 100 или

1000 м/мин? Конечно, оба значения в равной мере справедливы и истинны, ибо скорость относительна. И пока не указывается, относительно чего она измеряется, величина скорости просто не имеет никакого смысла.

Если угодно, можно бы узнать скорость пассажира, идущего вдоль вагона, не только относительно путевого обходчика, стоящего со своим флажком у будки, но и относительно... Солнца. Но тогда пришлось бы складывать скорость пассажира в его движении относительно Земли (то есть относительно неподвижного стрелочника) со скоростью Земли в ее движении относительно Солнца.

Конечно, выполнить это сложение будет уже не так просто, как сложить скорость пассажира, идущего вдоль вагона со скоростью самого вагона относительно пути. Теперь уже понадобится так называемое геометрическое сложение, по правилу параллелограмма, хорошо известному из школьного курса физики,—ведь направления складываемых скоростей в общем случае не одинаковы. Впрочем, можно обойтись и без сложения—уж слишком разнятся обе скорости по величине. Что изменят наши «мизерные» 60 км/час, если скорость Земли в ее движении вокруг Солнца больше «только» в... 1700 раз! Очевидно, мы практически не ошибемся, если скажем, что и наша скорость относительно Солнца равна орбитальной скорости Земли, то есть превышает 100 000 км/час.

Вот если бы мы захотели узнать нашу скорость относительно так называемых «неподвижных» звезд, то тут уж пришлось бы действительно геометрически складывать орбитальную скорость Земли вокруг Солнца со скоростью самого Солнца относительно звезд. Эта последняя скорость, направленная к самой яркой звезде нашего неба—Сириусу, равна примерно 20 км/сек, то есть составляет две трети орбитальной скорости Земли.

Между прочим, хотя и говорят о звездах, что они неподвижны, в действительности это совсем не так. Пожалуй, Солнце—это еще одна из самых «тихоходных» звезд. Вот, например, одна из ближайших к нам звезд, открытая астрономом Барнардом, движется в 171 раз быстрее Солнца—ее скорость равна 140 км/сек. Не удивительно, что из-за большой скорости ее иногда называют «летающей» звездой Барнарда. Но и эта скорость далеко не наибольшая в мире звезд. Самая быстрая звезда из известных (она находится в созвездии Цефея) движется со скоростью более 1000 км/сек! Своеобразный рекордсмен звездного мира.

Однако это относится только к нашей Галактике. Что касается звезд, входящих в другие галактики, то оказывается, они обладают иной раз очень большой скоростью относительно Солнца, причем не одна какая-нибудь звезда, а все звезды, входящие в галактику. Наиболее удаленные от нас галактики мчатся со скоростью больше 100 000 и даже 150 000 км/сек! Вот где царство огромных скоростей...

Но как бы то ни было, не вызывает ни малейших сомнений, что любая скорость, самая малая или самая большая, может быть измерена. Причем подобное измерение имеет смысл только в том случае, если точно определено, относительно чего (физики говорят — относительно какой системы координат) ведется измерение. Все скорости относительны.

Эта очевидная истина, впервые научно сформулированная Галилеем три с лишним столетия назад, была практически известна людям, конечно, в глубокой древности. Но только полвека отделяет нас от того дня, когда наука установила, что эта истина хоть и бесспорна, но... ошибочна.

Однако что это за бессмысленная игра слов, таящая в себе очевидное противоречие?

И все же в действительности ничего противоречивого в сделанном утверждении нет. Конечно, прав Галилей — все скорости относительны и иными быть просто не могут. Это правильно по отношению ко всем случаям, за исключением одного-единственного. Есть, оказывается, в природе скорость, на которую это всеобщее и бесспорное правило не распространяется. И, может быть, само это исключение только подтверждает общее правило — ведь оно единственное! И не случайно единственное, а принципиально.

Что же это за удивительная скорость, которая оказывается не относительной, а абсолютной? И каков вообще смысл самого понятия — абсолютная скорость?

Уникальная абсолютная скорость, заслуженно занимающая совершенно особое место среди важнейших физических констант, — это скорость света, та скорость, с которой в вакууме распространяется свет. С такой именно скоростью мчатся в вакууме «частицы света» — кванты, или фотоны, о которых шла речь в предыдущей главе. Это материальные частицы, как и все другие так называемые элементарные частицы, из которых состоит окружающая нас Вселенная. Но от большинства элементарных частиц фотон отличается тем, что он не может находиться в покое. Фотон либо движется, либо вообще не существует — это какой-то «атом движения».

Но и это замечательное свойство еще не исчерпывает всех важнейших особенностей фотона. Мало того, что фотон всегда движется,—оказывается, скорость его движения в вакууме всегда одна и та же. Как мы уже знаем (хотя пока еще, вероятно, не очень хорошо понимаем), это не относительная, а абсолютная скорость. И, наконец, эта всегда постоянная по величине абсолютная скорость оказывается и наибольшей возможной в природе скоростью—ею может обладать только фотон, все остальное в природе движется медленнее. Разве не удивительно, в самом деле, эта необыкновенная физическая константа—скорость света в вакууме?

Уже судя по одному тому, что скорость света—наибольшая возможная в природе, она должна быть, очевидно, очень большой по величине. Мы уже упоминали гигантские звездные семейства, движущиеся со скоростью порядка 150 000 км/сек. Как и следовало ожидать, еще гораздо большие скорости встречаются в мире мельчайших частиц.

Действительно, в лабораториях ядерной физики с помощью специальных установок, так называемых ускорителей, служащих, как показывает само их название, для разгона мельчайших частиц вещества, удается достигать колоссальных скоростей движения. Электроны, протоны, альфа-частицы (то есть ядра атома гелия) и другие микрочастицы разгоняются иногда до скоростей, очень близких к скорости света. Еще большей скоростью обладают некоторые частицы, рождающиеся где-то в глубинах космоса, в далеких галактиках, и изредка врывающиеся в земную атмосферу. Эти сверхбыстрые частицы, входящие в состав так называемой первичной компоненты космических лучей, сигнализируют ученым о каких-то грандиозных по масштабам космических катаклизмах, отзвуками которых они являются. Скорость таких частиц еще ближе к скорости света, иной раз она отличается от этой последней на относительно ничтожную величину, на какие-то жалкие доли процента.

И все же обязательно отличается. Еще ни разу не было случая, чтобы скорость какой-либо частицы оказалась равной скорости света в вакууме или тем более превзошла ее. И науке теперь ясно, что этого и не может быть.

Однако иногда в научной литературе можно встретить термин «сверхсветовая скорость». Известен даже особый вид излучения, испускаемого частицами, движущимися с такой «сверхсветовой» скоростью; это излучение, открытое советскими физиками, получило название Черенкова-Вавилова.

Каждый, кто когда-нибудь был в павильоне атомной энергии на ВДНХ в Москве, мог сам наблюдать это излучение в недрах работающего атомного реактора. Значит, скорость света все-таки может быть превышена? Где же тогда правда?

Но никакого противоречия нет и здесь. Действительно, когда какая-нибудь частица, например электрон, движется со скоростью, большей, чем скорость света (погодите, сейчас все разъяснится!), то при этом рождается излучение. Однако все это должно происходить в какой-либо среде, например в воде, как в работающей модели атомного реактора на ВДНХ. А свет распространяется в разных средах с различной скоростью, причем (и это, конечно, очень важно) обязательно меньшей, чем в вакууме (например, в алмазе скорость света равна «всего» 125 000 км/сек). Поэтому-то и может случиться, что в каком-нибудь веществе, хотя бы в той же воде, скорость частицы, например электрона, больше, чем скорость фотона, то есть скорость света в этом веществе¹. Но, конечно, скорость света в вакууме всегда остается недосяжимым идеалом. Как всякий истинный идеал.

Чему же равна скорость света в вакууме?

Даже из того, что нам уже известно, совершенно очевидно, насколько важно для ученых точно знать величину скорости света. Мы потом увидим, что для этого есть немало и других, не менее важных оснований. Так что нет ничего неожиданного в том, что, с тех пор как примерно триста лет назад было получено первое, приближенное значение этой скорости², ученые ставят всё новые и новые опыты с целью более точного определения скорости света.

Вероятно, наилучшим, наиболее точным значением скорости света является величина, равная 299 792 456, 2 м/сек. Поражительная точность!

В абсолютном большинстве случаев принято округлять эту величину и считать скорость света в вакууме равной 300 000 км/сек. Вот это и есть то самое знаменитое *c* («це» латинское), которое входит во многие фундаментальные уравнения современной физики.

¹ Абсолютной является только скорость света в вакууме. Величина скорости света в любой среде уже зависит от движения наблюдателя.

² Этот опыт был поставлен в 1675 году датским астрономом Олафом Ремером, определившим скорость света по наблюдениям затмений спутников планеты Юпитер (промежутки между затмениями были больше, когда Земля удалялась от Юпитера, чем когда она приближалась к нему). Им получено значение 214 000 км/сек.

Интересно, что в опыте¹, в котором было получено одно из самых точных значений скорости света, в действительности непосредственно определялась не скорость света! Неожиданно, не правда ли? Но поскольку это не только неожиданно, но и весьма важно, пожалуй, стоит рассказать подробнее и о самом опыте и о его результатах.

Прежде всего, с чем же имели дело ученые в проведенном ими опыте, если не со светом? Оказывается, с радиоволнами. Но разве это одно и то же?

И да и нет. Да, ибо и световые и радиоволны по своей природе одинаковы — они представляют собой электромагнитные волны, колебания электромагнитного поля. Это было установлено великим английским физиком прошлого века Максвеллом. Но вместе с тем и нет, потому что частоты световых и радиоволн сильно разнятся: световые колебания характерны гораздо большей частотой, чем у радиоволн. И, следовательно, как мы теперь знаем из предыдущей главы, квант видимого света обладает большей энергией, чем радиоквант.

Поскольку перед экспериментаторами стояла задача определения скорости света, а скорость распространения всех электромагнитных волн одна и та же, то, естественно, они имели полное право вместо света иметь дело с радиоволнами. А это, как мы увидим позже, в данном случае гораздо удобнее.

Но подтверждается ли на опыте теоретическое предсказание Максвелла о равенстве скорости распространения световых и радиоволн? Ведь это равенство стало одним из краеугольных камней всего здания современной физики, и трудно даже представить себе катастрофические последствия его экспериментального опровержения. Впрочем, ученых вовсе не тревожит такая возможность. Слишком уж многое в современной физике подтверждает верность ее основных положений. И если тем не менее физики пользуются всяким случаем, чтобы еще и еще раз убедиться в безупречности этого равенства, то таков уж характер истинных ученых. Кто ленится лишний раз «допросить» природу, тому не место в их среде.

Многочисленные измерения, произведенные на Земле, подтвердили, в пределах достигнутой точности, одинаковые значения скорости распространения электромагнитных волн различной частоты. Совсем недавно подобный эксперимент удалось

¹ Этот опыт был поставлен в 1958 году в Английской национальной физической лаборатории в Теддингтоне К. Фрумом и его сотрудниками. Полученное значение скорости света рекомендовано, в частности, XII Генеральной ассамблеей Международного научного союза по радиосвязи.

первые поставить и, так сказать, в космических масштабах. Авторами этого эксперимента были ученые-астрофизики, а «прибором», который они использовали, стали так называемые звезды-вспышки, название которых раскрывает особенности их «характера».

При каждой вспышке этих своеобразных звезд резко, скачком возрастает как обычная яркость, так и радиояркость звезды, то есть увеличивается интенсивность ее светового и радиоизлучения. Астрономы Ловелл (Англия) и Уиппл (США) установили, что, хотя расстояние до наблюдавшейся ими звезды-вспышки составляло примерно 500 световых лет (то есть свет проходил это расстояние за 500 лет), вспышки света и радиосигналов наблюдались практически одновременно. Из этого был сделан неопровержимый вывод, что скорости распространения обоих видов электромагнитных волн могут различаться не более чем на одну миллионную долю.

Новую, еще лучшую возможность проверки этого вывода, исключительно важного для всей современной физики, предоставил оптический пульсар в Крабовидной туманности, о котором говорилось в главе 7-й. От нас до этого пульсара более 6500 световых лет, но и на этом огромном расстоянии измеренная разница в скорости света разных частот не превысила $5 \cdot 10^{-18}$, примерно одной миллионной миллиметра в секунду.

Итак, для определения скорости света опыт велся не со светом, а с радиоволнами, причем использовались ультракороткие волны миллиметрового диапазона. Но что же измеряли ученые в опыте, если не скорость распространения волны?

Вот тут-то и пригодились особенности использованных в опыте радиоволн, именно их точно известная частота. Ведь легко видеть, что частота любых волн и скорость их распространения тесно связаны между собой через длину волны. Если в секунду «рождается» известное число волн (частота) и известно расстояние между двумя соседними волнами (длина волны), то, очевидно, произведение частоты на длину и есть путь, пройденный волной за секунду, то есть скорость волны¹. И поскольку частота была известна, то для

¹ Радиолюбители часто пользуются этой зависимостью для перехода от частоты ν к длине волны λ , и наоборот. Но они-то считают скорость радиоволн известной и равной $c = 300\,000$ км/сек, вследствие чего $\lambda \nu = 300\,000$ км/сек; например, при частоте 300 мегациклов длина волны

$$\lambda = \frac{300\,000}{300\,000\,000} = 1 \text{ м.}$$

определения скорости нужно было лишь точно измерить длину волны. В этом и заключался опыт. Длина волны измерялась в нем с помощью прибора, использующего явление так называемой интерференции (наложения волн)¹.

Возможно, что читатель уже давно обратил внимание на противоречие: выше о скорости света говорилось как о скорости движения частиц — фотонов, или квантов света, а теперь она оказывается уже скоростью распространения волн. Что же такое на самом деле скорость света — скорость движения частиц или скорость распространения волн?

Но из предыдущей главы мы уже знаем, что в действительности никакого противоречия здесь нет, ибо нет его и в самой природе. Таков уж двойственный характер элементарных частиц, являющийся одной из главных особенностей микромира и соответственно одной из основ квантовой механики, которая описывает поведение этого «странного» мира. Не только фотон, но и любая другая микрочастица может проявлять себя по-разному, в зависимости от условий: то как частица, то как волна.

Однако нас интересуют сейчас не эти необычные свойства микромира, а особенности скорости света и прежде всего ее удивительное постоянство, превращающее скорость света в одну из самых фундаментальных физических констант.

Не удивительно, что ученые с помощью многих хитроумных экспериментов пытаются установить хотя бы тончайшие различия в скорости света в разных условиях. Ведь если бы удалось обнаружить такие различия, то это означало бы революцию в физике. На развалинах стройного здания современной физики пришлось бы возводить фундамент нового, контуры которого нельзя себе сейчас даже представить. Впрочем, в этом нет и нужды, ибо современная наука считает постоянство скорости света одной из бесспорных, неопровержимых истин. И если эту истину все же время от времени проверяют, то и это идет ей на пользу, ибо из всех баталий она выходит еще более укрепившейся.

Точно такой же истиной является и то, что скорость света есть максимально возможная в природе скорость движения, что достичь ее ни одно материальное тело, за исключением фотона (и еще одной «странной» частицы — нейтрино), не может.

¹ При получении наиболее точного значения скорости света, приведенного выше, измерялись частота и длина волны света, излучаемого лазером.

На первый взгляд в самом этом утверждении есть внутреннее, легко устанавливаемое противоречие. В самом деле, ведь известно (это следует просто из закона сохранения энергии), что кинетическая энергия любого движущегося тела может неограниченно возрастать, если к этому телу подводить энергию извне. Но тогда, значит, и скорость движения тоже должна возрастать неограниченно?

Действительно, если воздействовать на движущееся тело с какой-либо силой неограниченно долго, например в виде бесконечной серии повторяющихся импульсов-толчков, то и скорость тела должна в конце концов стать сколь угодно большой. Разве не так в действительности раскачивают качели? И ведь именно на этом основан разгон частиц в ускорителях ядерных лабораторий. Так за чем же дело стало?

Однако это представление о «совершенной очевидности», как это часто бывает, оказывается ошибочным. И чтобы разобраться в том, что же происходит на самом деле при разгоне движущегося тела, нужно исходить как раз из того, что скорость света достигнута быть не может. К каким же следствиям приводит это исходное непререкаемое требование? И как согласовать его, в конце концов, с законом сохранения энергии?

Разумеется, закон сохранения энергии безупречно верен во всех случаях, при всех обстоятельствах. Но развитие науки со временем обогатило этот закон, наполнило его новым содержанием. К такому выводу первым пришел Эйнштейн более полувека назад, и сделал он этот вывод на основе заключения о постоянстве скорости света и недостижимости ее для всех движущихся тел.

Рассуждение Эйнштейна внешне казалось простым и ясным, но логические следствия этого рассуждения имели поистине характер взрыва — они разбили многие классические представления старой физики.

Ход мыслей Эйнштейна мог быть примерно таким. Если к движущемуся телу подводить неограниченно большие количества энергии, то при этом будет неограниченно возрастать и кинетическая энергия тела. Эта энергия равна, как известно, $\frac{mv^2}{2}$, где m масса тела, а v скорость его движе-

ния. Во все времена для физиков масса тела была его основной характеристикой, мерой находящегося в нем вещества. Естественно, что эта величина для движущегося тела остается неизменной (ведь количество вещества в теле не убывает и

не возрастает). А следствием этого очевидного факта является неограниченное возрастание скорости тела v , когда растет его кинетическая энергия $\frac{mv^2}{2}$.

Но как быть, если в действительности рост v ограничен и скорость может лишь приближаться к скорости света c , но ее не достигнет?

Признавая это, нужно быть последовательным до конца и согласиться с тем, что величина массы тела вовсе не остается постоянной, что она неизбежно должна возрастать по мере увеличения скорости движения: если не растет один множитель, то должен расти другой, чтобы их произведение увеличивалось. Итак, когда увеличивается кинетическая энергия тела, то это происходит и за счет роста скорости v , и за счет массы m . При малых скоростях движения масса меняется мало, так как и энергия мала, но когда скорость движения становится большой, то и энергия тела велика, и в этих условиях масса тела начинает уже возрастать стремительно.

Оказывается, масса тела вовсе не есть нечто фиксированное, застывшее, постоянное — она прямо зависит от энергии тела. Чем больше энергия, тем больше и масса, причем их взаимозависимость такова, что при больших, околосветовых скоростях движения даже ничтожному увеличению скорости соответствует огромное возрастание энергии тела и, следовательно, его массы. Поэтому-то и нельзя достичь скорости света — уравнения, полученные Эйнштейном, показывают, что движению со скоростью света соответствуют бесконечно большие значения энергии и массы тела.

Ну что ж, это все хоть и архиреволюционно, но, в общем, понятно, с этим еще как-то можно «примириться». Но как поступить с телом, которое вовсе не движется? Его кинетическая энергия равна, очевидно, нулю, а масса тем не менее существует, она вовсе не равна нулю. Где же тут взаимозависимость массы и энергии?

Да вот, к примеру, представим себе идущих по тротуару и мирно беседующих пешеходов. Что ж, если их скорости одинаковы, то, значит, и массы тоже должны быть равны? Но ведь даже простым глазом видно, что один из них тщедушный, а другой — настоящий гигант. Нет, тут явно что-то не то...

Не удивительно, что Эйнштейн, чтобы преодолеть эту трудность, должен был сделать еще один логический шаг, высказав утверждение, что и в покое каждое тело обладает энер-

гией, пропорциональной его массе. Конечно, это уже потенциальная, а не кинетическая энергия, она скрыта в веществе, но, как всякая потенциальная энергия, при некоторых условиях может быть выделена и использована.

Поэтому, по Эйнштейну, полная энергия любого движущегося тела складывается из двух частей: потенциальной энергии, пропорциональной массе неподвижного тела (или так называемой массе покоя, как принято ее называть в науке), и кинетической энергии, с которой связано определенное увеличение массы тела по сравнению с массой покоя. Впрочем, конечно, это увеличение массы вовсе не обязательно может быть вызвано именно кинетической энергией: любая энергия, сообщенная телу, увеличивает его массу. Так, масса нагретого тела больше, чем холодного, электрически заряженного — больше, чем нейтрального, и т. д.

Вот теперь уже закон сохранения энергии будет соблюдаться с непрекаемой точностью. Конечно, энергия, которую подводят к телу, движущемуся с околосветовой скоростью, никуда не пропадает. Хотя скорость тела при этом почти не возрастает, зато растет масса тела. В результате общая энергия тела возрастает как раз на величину энергии, подведенной к нему извне.

Какова же, по Эйнштейну (это значит — по современной науке), величина потенциальной энергии покоящегося тела? Как численно связана эта величина с массой покоя тела?

Эта связь устанавливается уравнением Эйнштейна:

$$E = mc^2,$$

где, как легко видеть, E — энергия тела, m — его масса покоя, а c — скорость света.

Это фундаментальное уравнение современной физики раскрывает наиболее глубокие, коренные свойства материи в природе.

Наука накопила уже огромное количество экспериментальных доказательств абсолютной справедливости этого уравнения, как, впрочем, правильности и других идей Эйнштейна, лежащих в основе созданной им теории относительности. Не удивительно, что теория относительности¹ стала одним из краеугольных камней здания современной физики, ею широко

¹ Здесь мы говорим о специальной теории относительности Эйнштейна, рассматривающей главным образом движение с околосветовой скоростью. Общей теории относительности посвящена следующая глава книги

пользуются теперь не только в научных, но и в инженерно-технических расчетах.

Действительно, как можно рассчитать движение электронов или протонов, разгоняемых в каком-нибудь циклотроне или другом ускорителе, если не знать, что масса этих частиц при больших, околосветовых скоростях движения может стать в тысячи раз больше их массы покоя? Так, например, на электронных ускорителях сейчас получают сверхбыстрые частицы, масса которых в результате разгона возрастает в десять — двадцать тысяч раз!

Или как можно составить энергетический баланс какой-либо ядерной реакции, рассчитать атомный котел или взрыв водородной бомбы, если не знать, каков «дефект массы» этой реакции, то есть насколько уменьшается масса ядерного горючего в результате выделения его потенциальной энергии?

Как видно, теория относительности уже давно стала необходимой не только ученому, но и инженеру. А мы помним, что, по существу, само появление этой теории связано с необыкновенными свойствами скорости света.

Полученное Эйнштейном соотношение между массой и энергией отчетливо показывает, между прочим, почему люди с полным правом могли до самого последнего времени считать во всех встречающихся случаях массу любого тела постоянной. Они при этом практически вовсе не ошибались — ничего удивительного не было в том, что в повседневной практике, да, впрочем, и в технике тоже, изменение массы тел, обусловленное изменением их энергии, оставалось просто незамеченным. Чтобы заметить изменение массы, нужна поистине колоссальная энергия — ведь это изменение равно энергии, деленной на скорость света в квадрате! Скорость света так велика, что изменение массы становится заметным только тогда, когда энергия очень велика. Например, годовая выработка электроэнергии таких гигантских гидроэлектростанций, как Братская или Куйбышевская, «весит» меньше... 1 кг! Где уж тут заметить «утяжеление» раскаленной электрической плитки по сравнению с холодной или изменение веса бегущего человека по сравнению со стоящим — тут разница составляет такие исчезающе малые доли грамма, что они неощутимы ни на каких чувствительных весах. Впрочем, современная техника позволяет построить весы, с помощью которых можно будет обнаружить увеличение веса стальной болванки весом в 1 кг при ее нагреве на 300°; это увеличение составит всего одну миллиардную долю грамма!

Начало атомного века радикально изменило положение. В недрах атомного ядра заключена столь большая энергия, что ее высвобождение уже существенно уменьшает массу ядра; «дефект массы» при этом становится уже вполне измеримым. Действительно, продукты «сгорания» ядерного горючего в атомном котле, то есть продукты происходящего в этом котле цепного процесса деления ядер урана или плутония, имеют массу примерно на 0,1% меньшую, чем исходная масса горючего. Всего одна десятая процента, а какая колоссальная энергия! Именно эта десятая процента движет атомный ледокол «Ленин» в тяжелых арктических льдах и шлет потоки электроэнергии от генераторов атомных электростанций. А вот масса Земли в результате поглощения ею энергии солнечного излучения возрастает примерно на 160 т в сутки (всего же Солнце теряет ежеминутно с излучением 240 миллионов тонн своей массы) ¹.

Легко видеть, что наука еще только-только подбирается к неиссякаемым кладовым энергии, которые пока природа держит крепко на замке. В этих кладовых содержится в тысячу раз больше энергии, чем удастся извлечь из ядер атомов урана. И, что самое главное, таким в тысячу раз большим запасом энергии обладает любой атом, все вещества в природе. Обыкновенная вода, песок, камни — все является потенциальным сверхкалорийным «топливом», все таит в себе энергию: в каждом грамме ее содержится столько же, сколько в 2000 т высококачественного бензина! Научись мы выделять и использовать эту энергию, и все проблемы запасов энергии, столь нужной человечеству, были бы сняты.

Но, увы, видит око, да зуб неймет... Пока замок висит крепко, методы использования всей потенциальной (ее иногда называют эйнштейновской) энергии вещества неясны науке даже в принципе.

Правда, уже известны природные процессы, когда выделяется именно вся энергия, полностью. Так случается, например, при столкновении электрона с его «близнецом», отличающимся только знаком электрического заряда, — позитроном. В результате подобного столкновения и происходит полное исчерпание той кладовой энергии, какой являются обе

¹ Примерно столько же Солнце теряет с испускаемыми им корпускулами — «солнечным ветром», то есть потоками плазмы. И все же масса Солнца уменьшится по этим причинам на 1% только через... сто миллиардов лет!

сталкивающиеся элементарные частицы. Эта энергия уносится квантами излучения, мощными фотонами гамма-лучей.

А что происходит с самими сталкивающимися частицами? Раз вся их энергия израсходована, то и масса, очевидно, становится равной... нулю! Да-да, частицы исчезают, как привидения. Не удивительно, что и сам этот процесс ученые назвали аннигиляцией, что по-латыни означает «превращение в ничто».

Ну конечно, аннигиляция электрона с позитроном, как и любой другой частицы с античастицей,— это никакое не превращение в ничто. Ведь масса частиц, участвующих в таком столкновении, остается неизменной, только вначале это была масса электрона и позитрона, а затем такая же по величине масса фотонов (правда, как вы помните, фотоны не обладают массой покоя и, как вечные странники, постоянно мчатся со скоростью света)¹. И энергия, естественно, не исчезает, только вначале это была потенциальная энергия частиц вещества, а затем — такая же по величине энергия излучения, энергия электромагнитного поля. Так что оба фундаментальных физических закона сохранения — вещества и энергии (или, лучше сказать, единый, общий закон) — остаются, разумеется, непоколебленными.

Однако наша уникальная физическая константа — скорость света — не только отвергла классическое представление о массе как о раз навсегда заданной и неизменной характеристике вещества. Она ниспровергла и два других «абсолютных» кумира классической физики — пространство и время.

Изучение удивительных особенностей скорости света неопровержимо показало, что глубоко ошибочны испокон веков существовавшие представления ученых об этих фундаментальных формах существования материи как о чем-то незыблемом, как о каком-то неизменном «фоне» всех явлений в природе. Теория относительности не оставила камня на камне от подобных воззрений. Как ни парадоксальными казались (да

¹ Чему равняется масса фотона, можно видеть из следующего. Для наименьшего по величине кванта видимого света, красного, с частотой $\nu = 4 \cdot 10^{14}$ колебаний в секунду, энергия, по уравнению Планка $E = h\nu$, равна $26,5 \cdot 10^{-13}$ эрг, а для наибольшего по величине, фиолетового, с частотой $8 \cdot 10^{14}$, соответственно $53 \cdot 10^{-13}$ эрг. По уравнению Эйнштейна $E = mc^2$, массы этих квантов равны соответственно $2,95 \cdot 10^{-33}$ г и $5,9 \cdot 10^{-33}$ г. Наличие массы у фотонов приводит к давлению света на преграду, как наличие массы у атомов — к давлению газа. Солнце «давит» своим излучением на освещенную поверхность Земли с силой около 100 000 т.

и сейчас еще многим кажутся) выводы этой теории о пространстве и времени, они бесспорны, ибо являются столь же прямым следствием необыкновенных свойств скорости света, как и уже известный нам вывод о превращениях массы.

Правда, теперь речь пойдет уже не о том, что скорость света недостижима ни для одного движущегося тела, кроме фотона, что «сверхсветовой» скорости не существует. Другое уникальное свойство скорости света то, что эта скорость, единственная из всех, является абсолютной, что ее величина во всех случаях остается одной и той же.

Но что все-таки значит — абсолютная скорость? Ведь жизненный опыт каждого из нас, многовековой опыт всего человечества убеждает в том, что все скорости всегда относительны. По существу, эта относительность является важнейшей частью самого понятия «скорость». И вдруг...

Вспомните, как в вагоне движущегося поезда наша скорость относительно самого вагона и относительно километровых столбов была различной. Это охотно подтвердили бы наблюдатели — сосед по купе и обходчик, поднимавший свой флажок у дорожной будки.

Если бы вместо нас самих по коридору вагона двигались любые другие тела и предметы, разве что-нибудь изменилось бы? Допустим, мы заставили мчаться со свойственной им огромной, околосветовой скоростью какие-нибудь элементарные частицы, те же электроны, например, или протоны. Конечно, и в этом случае сосед по купе и путевой обходчик зарегистрировали бы разные значения скорости. Ну, а если такими «подопытными» частицами окажутся кванты света, фотоны?

Вот тут-то все действительно будет иначе. Ибо фотоны движутся не с околосветовой скоростью, а со скоростью света. А с ней шутки плохи, ее свойства ни на что другое не похожи.

Оказывается, где бы ни находился наблюдатель-хронометрист, определяющий скорость движения фотонов вдоль вагона, — в самом вагоне (как наш сосед по купе), у железнодорожного пути (как обходчик) или даже в вагоне встречного поезда, — все равно результат эксперимента был бы одним и тем же: во всех случаях измеренная скорость фотонов была бы в точности равна c .

Этот кажущийся невероятным результат был впервые получен в известном, ставшем историческим, опыте американских физиков Альберта Майкельсона и Эдуарда Морли в

1887 году¹. С тех пор подобные опыты, целью которых была попытка отличить движение от покоя путем измерения скорости света, повторялись другими учеными бесчисленное множество раз и всегда с одним результатом. Во всех случаях скорость света была одной и той же, вне зависимости от того, неподвижен источник света или движется с какой угодно скоростью. Абсолютный характер скорости света неизменно подтверждался. Даже если навстречу друг другу мчатся два фотона, все равно их относительная скорость тоже равна только c , а не $2c$, как это следовало бы по законам классической механики!

Бесспорный, установленный опытом факт неизменности, абсолютности скорости света кажется, конечно, удивительным, но все же, вероятно, сразу не производит впечатления того «потрясателя основ», каким он в действительности является. Пожалуй, стоит привести здесь хотя бы некоторые очевидные следствия этого факта.

Оказывается, все явления в какой-нибудь движущейся системе будут восприниматься по-разному наблюдателем, находящимся в этой же системе, то есть неподвижным относительно нее, и наблюдателем в какой-нибудь другой системе, движущимся относительно первой с какой-либо постоянной скоростью. Допустим, например, что первая система — это Земля, а вторая — мчащаяся в космосе ракета, причем скорость прямолинейного и равномерного движения этой ракеты относительно Земли есть v . Если скорость v мала по сравнению со скоростью света c , то разница в том, что регистрируют оба наблюдателя (на Земле и на ракете), будет практически неощутимой. Все измерения времени и длины будут одними и теми же, вне зависимости от того, какой наблюдатель (находящийся на Земле или на ракете) производит эти измерения и где именно он их производит (на Земле или на ракете).

Иное дело, если скорость ракеты очень велика, близка к скорости света; такие околосветовые скорости называются релятивистскими² скоростями, а механика, изучающая дви-

¹ Опыт показал, что, как бы ни перемещалась Земля относительно луча света от Солнца — по этому лучу, навстречу ему или под углом, — все равно скорость света оставалась одной и той же.

² По-латыни «релятивус» — «относительный». В современной науке принято во всех случаях, когда явления могут быть изучены только с помощью теории относительности, вводить термин «релятивистский» (например, релятивистская механика, релятивистская астрофизика и др.).

жение с подобными скоростями,— релятивистской механикой. В этом случае события, одновременные в одной системе (на Земле или на ракете), покажутся уже неодновременными наблюдателю из другой системы. Течение времени в «своей» и «чужой» системе тоже будет иным: в «своей» системе оно будет более ускоренным, чем в «чужой». Поскольку движение какой-либо другой системы не может, естественно, повлиять на ход часов «своей» системы, то очевидным является вывод о том, что часы этой другой системы идут медленнее, отстают от «истинных», то есть имеющихся в «своей» системе. К такому выводу придут оба наблюдателя, каждый в «своей» системе.

На первый взгляд кажется, что здесь что-то не так. Действительно, как это оба наблюдателя одновременно считают «чужие» часы отстающими? Если один утверждает, что часы другого отстают, то этот другой обязательно должен считать часы первого спешащими — ведь именно так и только так бывает в повседневной практике здесь, на Земле. Но эта аналогия несостоятельна. Если обычно на Земле у двух наблюдателей часы расходятся, то верны могут быть лишь одни часы, а другие обязательно идут неверно. Иное дело с часами наблюдателей на Земле и ракете; в этом случае и те и другие часы идут верно, хотя каждый наблюдатель считает (и он прав!), что часы другого отстают. Таковы объективные, существующие в действительности и помимо желания наблюдателей, условия отсчета времени обоими наблюдателями. Эти условия полностью и во всем равноправны.

Чем больше скорость ракеты v , то есть относительная скорость обоих наблюдателей, тем больше это замедление времени; на релятивистской ракете оно может стать очень значительным. Для земных наблюдений, например, секунда на ракете может быть равной собственному... году или, если хотите, даже и столетию. Но тогда и наблюдатель на ракете будет точно так же считать часы на Земле практически остановившимися — ведь за год их стрелки сдвинутся всего лишь на секунду. Естественно, что это будет относиться не только к самим часам, но и ко всем происходящим с определенной скоростью процессам: всем проявлениям жизни наблюдателей, колебаниям атомов, росту растений, короче говоря — ко всему без исключения. Кроме скорости света, которая всегда и везде неизменна.

Эффект замедления времени на околосветовой, или релятивистской, ракете, фантастические возможности, которые от-

крывает полет с такой скоростью, послужили поводом для шуточного стихотворения С. Я. Маршака:

Сегодня в полдень пущена ракета.
Она летит чуть медленнее света.
И долетит до цели в шесть утра..
Вчера.

Разумеется, это только шутка, но релятивистское замедление времени вовсе не шутка. Это бесспорный научный вывод. Однако можно ли проверить истинность этого на опыте?

Да, конечно. Собственно, такие опыты уже проведены, но они относятся пока лишь к элементарным частицам вещества, только они пока могут двигаться с достаточно большими, околосветовыми скоростями. Так, например, сама природа постаралась предоставить ученым наглядное доказательство абсолютной достоверности формул теории относительности, по которым определяется замедление времени. Таким доказательством послужила одна из известных науке элементарных частиц, так называемый мюон, или мю-мезон. Мюоны образуются в результате столкновения сверхбыстрых частиц, входящих в состав космических лучей, с атомами верхних слоев земной атмосферы. К сожалению, продолжительность жизни мюонов очень невелика — они почти мгновенно распадаются после образования (через 2 миллионные доли секунды), вследствие чего поверхности Земли достичь не могут, так как способны пролететь за это время даже при своей огромной скорости всего чуть больше полукилометра. И все же они ее достигают. Где же объяснение этому загадочному факту? Оно — в релятивистском замедлении времени. На быстродвижущемся мюоне¹ «часы» идут гораздо медленнее (с точки зрения земного наблюдателя), настолько медленнее, что он успевает промчаться до самой Земли, перед тем как исчезнуть. Количественное соответствие теории относительности в

¹ Аналогичное явление неоднократно удавалось зарегистрировать в лабораториях ядерной физики с другими элементарными частицами, так называемыми пи-мезонами, или пионами. Их скорость, например получаемая с помощью ускорителя в Дубне, равна приблизительно 290 000 км/сек, а срок жизни (период полураспада) — 17 наносекунд (то есть миллиардных долей секунды). Однако половина всех пионов распадается на пути не 5 м, как следовало бы при этой скорости, а... 20 м, в четыре раза большем. Как показывает теория относительности, именно в четыре раза должно замедляться время на пионе, летящем с такой скоростью. Физики используют это явление для изучения короткоживущих частиц — их разгоняют до околосветовой скорости.

этом случае получается полным: для наблюдателя на мюоне часы показали бы все те же 2 микросекунды, тогда как земной наблюдатель на своих часах зарегистрировал бы время в тысячу раз большее — за такое время¹ мюон может пролететь более 500 км.

Но, могут сказать скептики, все это не то, знаем, мол, мы эти элементарные частицы, у них все не так, как «у людей», все по-своему. Да и о каких часах на мюоне может идти речь? Вот если бы действительно установить часы на скоростной ракете и сравнить!.. Тогда было бы другое дело.

К сожалению, скорость ракет пока еще намного меньше световой. При достигнутых в ракетной технике и космонавтике скоростях величина замедления оказывается ничтожно малой (так, например, для корабля «Восток-5» с космонавтом Валерием Быковским замедление времени за все 119 часов полета составило примерно 0,0002 сек). И все же невиданное увеличение точности отсчета времени, достигнутое современной физикой с помощью атомных часов (о них говорилось в главе 1-й), квантово-механических устройств — лазеров и мазеров — и устройств, основанных на использовании так называемого эффекта Мессбауэра², позволяет уже сейчас поставить и эксперимент с ракетой. Для этого нужно установить сверхточные атомные часы на искусственном спутнике Земли (подобная установка была произведена, спутники с атомными часами уже побывали на орбите) и сравнить ход этих часов с такими же земными. Этот эксперимент поставить очень не просто — придется учесть многие побочные факторы, сказывающиеся на измерении времени, но он, несомненно, не за горами, ученые готовят его проведение. Более того, его уже удалось провести, хотя, правда, пока не с ракетой, а в... лаборатории. Английские физики укрепили атомные часы — радиоактивный изотоп железа — на ободе быстровращающегося диска. Измеренное замедление движущихся «часов», то есть скорости радиоактивного распада атомов железа, соответствовало теории!

¹ Наблюдателя на мюоне не удивляет то, что за время 2 микросекунды он успевает долететь до земной поверхности; для него расстояние в сотни километров сокращается до сотни метров, ровно на столько, на сколько для земного наблюдателя замедляется время. Об этом сокращении размеров, также являющемся выводом теории относительности, еще будет идти речь.

² Об этом эффекте можно прочесть книги: Г. Вертгейм, «Эффект Мессбауэра. Принципы и применение». «Мир», 1966; В. П. Гольданский, «На границе физики и химии». «Знание», 1972.

А что, если космическая ракета совершит замкнутый полет, то есть стартует с Земли и возвратится на нее, разогнавшись в пути до околосветовой скорости? Ведь тогда появится счастливая возможность непосредственно сравнить показания часов, оставшихся на Земле и возвратившихся из космоса. Что даст такое сравнение? Часы будут показывать одинаковое время или разное? А если разное, то в чем будет эта разница?

К сожалению, осуществление такого полета еще не под силу современной космической технике. Поэтому ответы на вопросы приходится давать умозрительно, проверить их на опыте пока нельзя. Нужно заметить, что, хотя ответы даются разные, ибо не перевелись еще сомневающиеся на белом свете, подавляющее большинство ученых стоят здесь на позициях теории относительности. А это значит, что, по их мнению, часы покажут разное время — часы, совершившие полет, будут отставать. И тем сильнее, чем больше была длительность релятивистского полета. Именно таков вывод теории, известный под названием «парадокса часов» — парадокса, ибо по первому впечатлению относительность движения должна бы привести к тому, что для наблюдателей на ракете, наоборот, часы на Земле отстают. Но здесь решают особенности процессов разгона и торможения ракеты, для Земли эти процессы отсутствуют.

Этот же парадокс называют иногда и «парадоксом близнецов», ибо если часы будут «живыми», например в виде двух братьев-близнецов, из которых один останется на Земле, а другой совершит релятивистский полет с возвращением, то «космический» близнец окажется моложе своего «земного» брата. Придет время, и космические корабли будут возвращаться из далеких звездных экспедиций. Экипажи этих кораблей могут не только не застать в живых своих сверстников, но за время их жизни, проведенной в полете, на Земле может «промелькнуть» жизнь многих поколений. Так скажется замедление времени на быстролетающем корабле.

Многие думают, что «парадокс близнецов» так и останется интересной теоретической возможностью, поскольку вряд ли когда-нибудь, по крайней мере в обозримом будущем, будут достигнуты околосветовые скорости в космонавтике. Но наука не устает посрамлять скептиков. Так случилось и на этот раз — «парадокс близнецов» уже проверен на опыте!

Это случилось в 1972 году, когда в США был совершен специальный полет вокруг света двух близнецов — «мистеров

Клок». Собственно, близнецов было даже четверо, два из них совершали полет вокруг Земли (один — на запад, другой — на восток, вдоль 39-й параллели), а два других ждали их на Земле. Впрочем, это были «близнецы» заводского изготовления — ведь «Клок» по-английски означает «часы»; действительно, речь идет о точных атомных часах, но разве это меняет дело? По крайней мере, оба «мистера Клока» занимали полноценное место на реактивных лайнерах «Боинг-747», совершавших кругосветные полеты на высоте 10 км со скоростью 960 км/час. Им были приобретены билеты на рейс, а два других билета принадлежали их соседям по самолетному салону, американским физикам Д. Хефили и Р. Китингу, которые осуществляли в полете непрерывное наблюдение за ходом своих «атомных» соседей.

В результате за 2,5 суток полета физикам удалось поспать лишь около трех часов — наука требует жертв... Зато когда показания «мистеров Клок» — летавших и ожидавших на Земле — были сличены, то оказалось, что «парадокс близнецов» действительно существует. Разница в показаниях была близкой к предсказываемой теорией относительности. Правда, совпадение не было абсолютно точным, что вполне можно объяснить сложностью эксперимента и зависимостью его результатов от многих причин. Часы в самолете, летевшем на восток, отстали на 59 наносекунд (то есть 59 миллиардных ее доли), а часы в другом самолете ушли вперед на 270 наносекунд — эта разница связана с суточным вращением Земли. По теории следовало ждать величин 40 и 275 наносекунд.

Пожалуй, именно замедление времени и есть тот единственный шанс, который предоставляет природа человечеству, мечтающему о полете к мирам с иной цивилизацией. Чтобы подать руку своим далеким братьям по разуму, нужно совершить полет на расстояние, может быть, в десятки и сотни световых лет. Одному поколению членов экипажа звездолета это было бы не под силу, если бы не эффект замедления времени¹.

¹ В качестве второго такого шанса стоит упомянуть разве о биологическом замедлении времени — погружении космонавтов в состояние так называемого анабиоза, например путем замораживания. Во всяком случае, бактерии, находившиеся в таком состоянии 250 миллионов лет и затем обнаруженные советским ученым Н. Чудиновым, ожили. Примеров длительного анабиоза немало в мире животных. Человек ему, правда, еще не подвергался, хотя в США уже существует даже «Клуб замороженных», намеренных заморозиться после смерти, с тем чтобы «ожить», когда наука уже сумеет оживлять мертвых.

Но как же с точки зрения теории относительности может объяснить свой полет экипаж межзвездного корабля? Ведь для них-то часы идут по-прежнему, и, выходит, они совершают полет быстрее... скорости света? Нет, конечно. Ибо в соответствии с теорией относительности околосветовая скорость изменяет не только течение времени, но и линейные размеры в направлении полета. Для наблюдателя на околосветовой ракете все размеры в направлении полета становятся меньшими, причем ровно настолько, насколько замедляется течение времени на корабле для земного наблюдателя (естественно, для этого последнего настолько же сокращаются размеры самого корабля). Поэтому-то когда-нибудь и окажется возможным далекий межзвездный полет.

Конечно, расплатой за такую экспедицию будет не только вечная разлука с близкими — вечная, потому что по возвращении экипаж сможет увидеть лишь далеких потомков этих близких. Может быть, неизмеримо более серьезным препятствием на пути к звездам окажется колоссальная, трудно даже вообразимая затрата энергии на полет. Помочь тут сможет разве только та же теория относительности с открываемой ею принципиальной возможностью полного использования потенциальной энергии вещества. Поэтому звездный корабль должен быть обязательно квантовым, фотонным, — ведь если реактивная струя не будет состоять из фотонов, то, значит, часть потенциальной энергии вещества не выделится и будет потеряна вместе с вытекающими из ракеты частицами.

Ну что ж, теперь, пожалуй, и мы можем отправиться в нашу «далекую» экспедицию в мир иных констант, в котором, как это ни удивительно, скорость света оказывается иной, чем в действительности...

Итак, одна из самых фундаментальных физических констант — скорость света — возросла в десять раз. Теперь она уже не 300 000, а 3 000 000 км/сек. Что изменилось из-за этого в мире?

Луч света от Солнца пробегает теперь свой путь к Земле не за 8,5 мин, а меньше чем за минуту. Ну и что же? Разве мы когда-нибудь в повседневной жизни думали о длительности полета «солнечных» фотонов до встречи с Землей?

Непривычным станет соотношение между частотой световых колебаний (помните, она обозначалась через ν) и длиной волны света λ . Ведь произведение $\nu\lambda$ равно, очевидно, скорости света c , и теперь это произведение возросло в десять раз. Значит, прежней частоте будет соответствовать в десять раз

большая длина волны. Придется, очевидно, переградуировать шкалы диапазонов на радиоприемниках, но это не так уж сложно: нынешние короткие волны станут средними, только и всего. Потребуют переделки и радиолокаторы, и ускорители элементарных частиц, и еще многие радиоэлектронные устройства, но и это еще не беда.

А вот скажется ли это на цветовой гамме окружающей нас Вселенной, сразу и необразишь. Отчего мы видим небо синим, а листья зелеными? Это восприятие цвета зависит от длины волны соответствующего цвета или его частоты? В действительности такой вопрос не имеет смысла, ибо частота и длина волны однозначно связаны между собой скоростью света. А если эта скорость возрастет в десять раз? На что, собственно, реагируют светочувствительные клетки нашего глаза — на частоту воспринимаемых световых волн, то есть число волн в секунду, или на их длину? Если на частоту, как считают некоторые ученые, то нынешний «голубой» квант света останется голубым, а «красный» — красным. Но если на длину волны, то в необыкновенном мире иных констант голубой квант может восприниматься глазом уже как красный... нет, даже инфракрасный. Тогда облик видимого мира изменится радикально — видимый мир станет невидимым, а увидим мы только предметы, испускающие... рентгеновы лучи. Для нас видимым станет рентгеновский участок электромагнитного спектра — это совершенно преобразит видимую Вселенную!

Однако будет ли Солнце излучать свет по-прежнему? Пожалуй, нет. Если идущая в недрах Солнца термоядерная реакция, являющаяся источником солнечного излучения и, значит, основой жизни на Земле, сохранит свой характер, то сохранится и дефект массы этой реакции. Следовательно, масса атомов, участвующих в реакции, будет уменьшаться в результате этой реакции по-прежнему на одну и ту же величину. Но зато выделяющаяся в результате реакции энергия возрастет в сто раз, ибо, по уравнению Эйнштейна, эта энергия равна дефекту массы, умноженному на квадрат скорости света, а скорость света возросла в десять раз.

Увеличение высвобождающейся термоядерной энергии вызовет стремительный разогрев Солнца. Если даже при этом не изменится характер ядерных реакций на Солнце, то энергия, которую Солнце шлет на Землю, возрастет тоже в сто раз. Вряд ли нужно объяснять, почему это сделает жизнь на Земле невозможной, превратит земной шар в раскаленную,

мертвую планету. Зато тектоническая активность земных недр многократно возрастет в связи с увеличением тепловыделения при радиоактивном распаде урана, радия, калия и других элементов — планета будет содрогаться под действием мощных землетрясений и вулканических извержений.

Невыносимый жар на Земле будет вызван не только тем, что Солнце будет слать в пространство гораздо больше энергии. Увеличение скорости света нарушит равновесие между гравитационными силами, удерживающими вещество звезды, и силами лучистого давления, расталкивающими это вещество во все стороны. Солнце начнет стремительно расширяться, увеличиваясь в размерах, оно станет «ближе» к Земле. Из недр Солнца наружу будут рваться гигантские фонтаны огня. Многие звезды, вероятно, взорвутся...

Все атомные электростанции придется срочно перестраивать — ведь их мощность увеличится в сто раз. Ну, с этим справиться было бы, вероятно, сравнительно просто — достаточно «сжигать» в атомных котлах соответственно меньшее количество ядерного горючего. Значительно выросли бы выгоды применения атомной энергии в космонавтике, хотя реализовать эти возросшие возможности было бы далеко не просто. Общие запасы ядерной энергии, которую человечество могло бы извлечь из имеющихся на Земле ресурсов атомного горючего, возросли бы в сто раз, но, пожалуй, эти запасы так и остались бы неиспользованными.

А вот релятивистский полет к звездам с использованием замедления времени стал бы, вероятно, и вовсе недостижимой мечтой — где уж тут думать о приближении к такой колоссальной скорости света!..

Но, может быть, более привлекательным будет мир иных констант, в котором скорость света не увеличится, а уменьшится в десять раз и станет равной $30\,000\text{ км/сек}$?

Если сохранится прежней масса, то энергия, в соответствии с уравнением Эйнштейна, уменьшится в сто раз — Солнце практически угаснет, по крайней мере для всего живого на Земле, ибо жизнь на земном шаре станет невозможной. В результате резкого сжатия звезд из-за уменьшения лучистого давления одни звезды могут взорваться, другие станут нейтронными — снова бесчисленные звездные катастрофы. Микромир станет гораздо более медленным: ведь теперь многие элементарные частицы обладают скоростью гораздо большей, чем $30\,000\text{ км/сек}$, а такие скорости окажутся невозможными. Чтобы сохранилась энергия частиц при уменьшив-

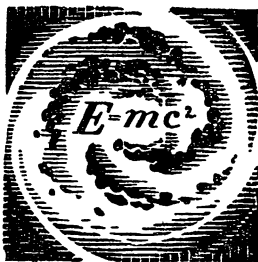
шейся скорости, должна будет резко увеличиться их масса — это резко изменит многие процессы микромира. Впрочем, не только микромира — вспомните «разбегающиеся» галактики со скоростью 100 и даже 150 000 км/сек! Их масса также колоссально увеличится.

Зато куда реальной станет перспектива межзвездного полета. Ведь теперь достичь околосветовой скорости будет гораздо легче. Может быть, успехи космонавтики позволят людям перелететь со ставшей негостеприимной Земли куда-нибудь на Марс, а то и подальше?

Да нет уж, лучше оставаться на нашей настоящей Земле...

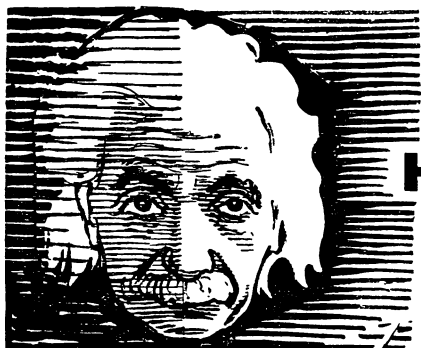
Но прежде чем закончить нашу главу, попробуем еще представить себе, с какими неожиданными ощущениями мы столкнулись бы в повседневной жизни, если бы оказались в необыкновенном мире, в котором скорость света уменьшилась настолько, что стала близкой к обычным для нас скоростям на Земле. Например, равнялась всего сотням или даже десяткам километров в час. Тогда скорость обычного автомобиля была бы околосветовой.

Для автомобиля любой путь оказался бы тогда намного короче, чем для пешехода, а вернувшиеся из загородной поездки домой путешественники обнаружили бы, что их соседи по дому постарели за это время сильнее, чем они сами. Вероятно, это никого не приводило бы в изумление, ибо стало бы обычным, повседневным. Не удивляло бы прохожих и то, что проезжающий мимо автомобиль и сидящие в нем люди как бы сплюснены вдоль направления движения, а цвет лица пассажиров стал другим: при приближении автомобиля он темно-фиолетовый, а при удалении — багрово-красный. Вот бы удивились они, если бы этого не случилось! Такова сила привычки...



10

ИЗВЕСТНАЯ

ВСЕМ
И
НИКОМУ

РОЖДЕНИЕ
 СИЛЫ ■ ПЛАНЕТЫ «ПО-
 ЯВЛЯЮТСЯ» НА КОНЧИКЕ ПЕ-
 РА ■ МЕРКУРИЙ ДВИЖЕТСЯ ПО
 СПИРАЛИ ■ ЗВЕЗДА - ДВУРУШНИК ■
 МАЯТНИК НА «БЕЛОМ КАРЛИКЕ» ■ ЧА-
 СЫ НА БАШНЕ ■ ПРИРОДНЫЙ «ЗВЕЗДО-
 ЛЕТ» ■ ПОГАСИТЬ СОЛНЦЕ НА МГНОВЕ-
 НИЕ ■ ДЕРЗКИЕ МЫСЛИ ЭЙНШТЕЙНА ■ СИ-
 ЛА ТЯГОТЕНИЯ ИСЧЕЗЛА ■ ПРОСТРАНСТВО
 «ИСКРИВЛЕНО» ■ БОГ, ДЬЯВОЛ И ЭЙН-
 ШТЕЙН ■ НЕБОСКРЕБ НА КУРЬИХ НОЖ-
 КАХ ■ ВЕЛИЧАЙШЕЕ ЧУДО СВЕТА —
 СВЕРХЗВЕЗДА ■ ВЗРЫВАЮТСЯ ГАЛАК-
 ТИКИ ■ «черные дыры»
 КОСМОСА ■ НЕРАСКРЫ-
 ТЫЕ ТАЙНЫ ТЯ -
 ГОТЕНИЯ ■



По мере того как развивалась наука, человек узнавал и изучал всё новые силы, действующие в природе. Однако, без сомнения, самой первой из сил, ставшей известной человеку и поразившей его воображение, была сила тяготения¹. Ведь эта сила неизменно сопровождала человека с первых дней жизни и в те далекие времена, когда он еще только становился человеком, и во все последующие века. Кто из нас не падал на землю под действием этой силы, не встречался с ней каждый день, каждый миг? Нельзя себе представить жизнь на Земле без силы тяготения.

Но хотя проявления силы тяготения известны людям столько времени, сколько они сами существуют, наукой эта сила была открыта сравнительно недавно. Это событие произошло примерно триста лет назад, в 1689 году, когда была опубликована историческая книга великого английского ученого Исаака Ньютона² «Математические принципы натуральной философии» (так называлась тогда наука о природе, известная теперь в качестве физики). По существу, именно с этой даты ведет свое летосчисление современная физика.

Разумеется, открытие Ньютона не случайно, оно было подготовлено трудами многих замечательных его предшественников.

Почти за полтора столетия до Ньютона великий польский астроном Николай Коперник доказал, что геоцентрическая система мира (с Землей как его центром), выдвинутая греческим ученым Клавдием Птолемеем и монополюно господствовавшая в течение почти полутора тысяч лет, неверна. Копернику принадлежит честь создания современных представлений о строении Солнечной системы.

Через три четверти века после этого немецкий астроном Иоганн Кеплер, завершая труд Коперника, сумел разгадать тайны орбит, по которым движутся планеты вокруг Солнца, а их спутники — вокруг самих планет³. Эти орбиты оказались не кругами, как полагал Коперник, а эллипсами.

Великий итальянский ученый Галилео Галилей⁴ блестяще развил учение Коперника, заложил основы науки о движе-

¹ Или гравитации (по-латыни «гравитос» — «тяжесть»).

² Ньютон работал над проблемой тяготения с 1665 года.

³ Исторический труд Коперника «Об обращении небесных сфер» появился в свет в 1543 году, работа Кеплера — в 1618 году.

⁴ Знаменитый труд Галилея «Диалог о двух главнейших системах мира, Птолемеевой и Коперниковой» появился в 1632 году. В следующем году Галилей за эту книгу был осужден католическим судом.

нии — механики (стройное здание которой затем воздвиг Ньютон), впервые изготовил и направил на небо телескоп. Но, конечно, все это ни в какой мере не уменьшает величия гениального открытия Ньютона, сумевшего разгадать одну из самых сокровенных тайн природы.

Ньютон доказал, что действие тяготения проявляется не только в непосредственно окружающем нас мире. На Земле эта сила вызывает падение тела. Но та же сила заставляет двигаться Землю и другие планеты вокруг Солнца, она является пружиной, заводящей механизм Солнечной системы, проявляется всюду во Вселенной. Ньютон «поднял» силу тяготения с Земли на небо, показал всемирный характер действия этой силы. Именно ей прежде всего обязана Вселенная существующей в ней гармонией и стройностью.

Открытый Ньютоном закон всемирного тяготения общеизвестен. По этому закону любые два тела во Вселенной, обладающие массами M_1 и M_2 и находящиеся друг от друга на расстоянии R , взаимно притягиваются с силой

$$F = G \frac{M_1 M_2}{R^2}.$$

Сила тяготения прямо пропорциональна массам тяготеющих тел и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними. Величина G , входящая в формулу закона тяготения Ньютона, есть так называемая константа тяготения, или гравитационная постоянная.

Все небесные тела притягивают друг друга. Даже далекий Нептун с расстояния в 4 миллиарда километров от Земли действует на нее с силой 18 миллионов тонн. Сила тяготения лежит в основе «устройства» и Солнечной системы, и бесчисленного множества других подобных систем, она управляет движением спутников планет и комет, двойных звезд, галактик. Ведь если бы не существовало тяготения, то Луна перестала бы обращаться вокруг Земли и стала бы удаляться от нее по инерции, в так называемом свободном движении, прямолинейно и равномерно, с той скоростью, которой она обладает в своем орбитальном движении вокруг Земли (то есть примерно 1 км/сек). Такая же судьба постигла бы Землю и другие планеты — они тоже покинули бы свои извечные пути-орбиты и разбежались бы во все стороны от Солнца, начав безостановочное свободное движение. Солнечная система распалась бы, перестала существовать.

Перестали бы существовать и мы с вами, ибо ничто более

не удерживало бы нас на земной поверхности. Люди, автомобили, поезда — все, что не связано крепко-накрепко с Землей, рассталось бы навсегда с ней, ибо удержаться на вращающейся Земле было бы уже нельзя. Все мы стали бы тоже двигаться совершенно свободно (хороша «свобода»!) в космосе, превратившись в его вечных пленников. Стройная структура Вселенной заменилась бы всеобщим хаосом.

Созданная Ньютоном теория тяготения одержала одну блистательную победу за другой. Она с высокой степенью точности объяснила особенности планетных орбит, найденные Кеплером, — без этого, конечно, ни одна теория тяготения не могла бы получить право на существование. Ей удалось измерить массы планет, раскрыть загадки движения комет, тайны приливов, расшифровать много «белых пятен» на карте Вселенной. Но, пожалуй, наибольшим триумфом было предсказание еще не сделанных открытий — появление кометы Галлея в заданный теорией срок, открытие неизвестных астрономам планет и звезд.

Вот как теория Ньютона позволила «открыть» новые планеты. Точные наблюдения за движением планеты Уран показали, что это движение не строго подчиняется закону Ньютона. Усомниться в правильности этого закона? О нет, астрономы имели уже немало доказательств его безукоризненной верности. Значит, имеется какая-то пока неизвестная причина, вызывающая отклонение планеты от пути, предначертанного ей теорией. Далее дело было лишь за расчетами, естественно целиком опиравшимися на закон Ньютона. Эти расчеты, произведенные французским ученым У. Леверье, были трудоемкими, но зато и плодотворными: выходило, что где-то в глубинах космоса, дальше Урана, должна находиться еще одна планета. Именно она и должна была быть, по расчетам, «возмутителем спокойствия». И стоило только направить телескоп в указанную расчетами точку (это случилось в 1846 году), как тотчас же перед ищущим взором астронома заблестала желанная звездочка! Так был открыт Нептун, а примерно через столетие и Плутон.

Не менее блистательно было решение загадки Сириуса, давно мучившей астрономов. Сириус — самая яркая звезда нашего неба, она находится в созвездии Большого Пса, на расстоянии 8,8 световых года от Земли. Как и все без исключения так называемые неподвижные звезды, Сириус движется по небу — это движение можно заметить лишь при наблюдении в течение большого времени. Но оказывается, если приглядеть-

ся, то можно заметить (впервые это было сделано около ста лет назад), что Сириус движется не по прямой, как почти все остальные звезды, а как-то странно, по волнистой кривой.

Разгадать эту тайну, казалось, не удастся — ведь Сириус так далек. Однако с помощью теории тяготения Ньютона было установлено, что «тайна» движения Сириуса связана с тем, что это не простая, а двойная звезда. Таких тесных звездных пар очень много во Вселенной; каждая из звездочек пары (иногда даже тройки звезд) обращается вокруг общего центра массы по эллиптическим орбитам, как это и положено по теории Ньютона. Но Сириус, казалось, не имел звезды-спутника, хотя ее наличие вполне могло бы объяснить необычную траекторию Сириуса. Действительно, в этом случае центр массы обеих звезд двигался бы, как и полагается, по прямой, а Сириус в результате обращения вокруг этого центра отклонялся бы то в одну сторону от прямой, то в другую, выписывая видимую в небе волнистую кривую. Однако где же спутник Сириуса, «полагающийся» ему по теории? Только через восемнадцать лет после теоретического предсказания звездочка-спутник, получившая название Сириус-В, была в действительности обнаружена в телескоп. Это произошло более ста лет назад, в 1862 году.

А в самые последние годы теория Ньютона позволила добиться еще более замечательных результатов: у далеких звезд были обнаружены спутники-планеты, похожие на нашу Землю, целые новые «солнечные системы». Конечно, обнаружить несветящиеся крохотные планеты на столь гигантских расстояниях пока нельзя даже в самые сильные телескопы. Они обнаружены теоретически, все по тем же ничтожным отклонениям в движении самой звезды. Подобные невидимые планеты были открыты уже не у одной звезды¹.

Так, например, недавно американский астроном Ван дер Камп сообщил об открытии еще одной планетной системы — на этот раз у звезды Барнарда, расстояние до которой равно 5,9 световых года (помните эту сверхскоростную «летающую»

¹ В 1951 году советский астроном А. Н. Дейч обнаружил планету-спутник у звезды «61 Лебедя»; теперь невидимые спутники обнаружены уже примерно у десяти ближайших к Солнцу звезд. А в 1969 году удалось «найти» планету размером с Землю даже у звезды, находящейся на расстоянии примерно... 6500 световых лет! Этой звездой оказался пульсар в Крабовидной туманности, о котором рассказывалось в главе 7-й. На этот раз помогло детальное изучение того излучения, которое испускает этот удивительный космический объект.

звезду? О ней говорилось в предыдущей главе). Для этого астроному пришлось изучить 2400 фотоснимков звезды за период 1916—1919 и 1938—1962 годов. Точные измерения на основе теории Ньютона показали, что вокруг звезды движется не менее трех спутников с массами в 200, 300 и 400 раз больше массы Земли.

Разве это не триумф науки? Не удивительно, что поэт сказал о теории Ньютона:

Природа и ее законы были покрыты тьмой.
Бог сказал: «Да будет Ньютон!» — и все осветилось.

Казалось, теория Ньютона незыблема на века. Как можно думать о ее замене, если она так блистательно подтверждает свою правильность? Ведь даже сейчас, когда наука начала штурм космоса, движение созданных человеком искусственных небесных тел — спутников Земли, космических ракет — с большой точностью рассчитывают с помощью все той же теории Ньютона.

И все же в самой сути этой теории были заключены ее коренные пороки. Как ни точна теория, она не в состоянии дать ответ на роковой вопрос: каково же происхождение силы тяготения, какова ее природа? И почему закон всемирного тяготения именно такой, а не какой-нибудь иной?

Сам автор этой замечательной теории, Исаак Ньютон, признавал свое бессилие. Он говорил: «Причину свойств силы тяготения я не могу вывести из явлений, гипотез же я не измышляю». И все же до тех пор, пока природа силы тяготения была неизвестной, само ее существование оставалось только гипотезой.

То, что не удалось Ньютону, сделал почти через два с половиной века после него другой великий ученый — Альберт Эйнштейн. В 1916 году он опубликовал свою знаменитую общую теорию относительности, содержащую в себе радикально новые идеи о природе тяготения. По существу, главное в общей теории относительности — это именно новая теория тяготения. На ее основе Эйнштейн создал и новую картину Вселенной, в главных своих чертах общепринятую современной наукой, хотя, нужно признаться, и до сих пор тяготение продолжает оставаться одним из самых неясных и таинственных явлений, своеобразных «белых пятен» в физике.

Эйнштейн с полным правом мог обратиться к Ньютону через века со ставшими знаменитыми словами: «Прости меня,

Ньютон! Понятия, созданные тобой, и сейчас ведут наше физическое мышление. Но сегодня мы уже знаем, что для более глубокого постижения мировых связей мы должны заменить твои понятия другими».

Но как же Эйнштейну удалось «отменить» закон Ньютона, многократно доказавший свою безупречную верность?

Да в том-то и дело, что он вовсе не «отменял» этот закон. Теория Эйнштейна просто «вобрала в себя» закон Ньютона, сумев пойти неизмеримо дальше. Эйнштейн показал, что его теория дает результаты, полностью совпадающие с законом Ньютона для всех тех случаев, когда выводы этого закона верны. Но верны они, по мнению Эйнштейна да и всей современной науки тоже, далеко не всегда. Просто до сих пор ученым не приходилось иметь дело с такими практическими случаями, когда закон Ньютона дает неточные, приближенные результаты, — именно с очень мощными полями тяготения. Так закон Ньютона стал как бы простым приближением теории Эйнштейна для большинства практически важных случаев, когда поле тяготения относительно слабо.

Впрочем, уже и сейчас в одном хорошо известном науке случае закон Ньютона как бы дает осечку. Этот роковой для закона Ньютона случай связан с планетой Меркурий, и потому именно с ней, что она ближайшая к Солнцу.

Закон Ньютона позволяет очень точно вычислить орбиту Меркурия, но за одним исключением. Оказывается, орбита Меркурия, имеющая обычную эллиптическую форму, не сохраняет свое положение в пространстве неизменным, как орбиты других планет. Его орбита непрерывно и медленно вращается в своей собственной плоскости. Подобное вращение ученые стали называть «вращением перигелия» орбиты, поскольку перигелий — ближайшая к Солнцу точка орбиты — непрерывно изменяет свое положение, перемещаясь по окружности (что, впрочем, относится и к афелию — наиболее удаленной от Солнца точке орбиты, а также ко всем другим ее точкам).

Вследствие вращения перигелия орбиты Меркурия эта планета движется не по замкнутому эллипсу, как остальные планеты, а по своеобразной разомкнутой бесконечной спирали, образуемой вращающимся эллипсом. Чем же вызывается такое странное поведение Меркурия? Закон тяготения Ньютона не смог дать ответа на этот вопрос.

Точнее говоря, с помощью закона Ньютона все же удалось объяснить основную часть вращения перигелия Меркурия.

Общая скорость этого вращения равна 573 угловым секундам в столетие. Так вот, 530 угловых секунд оказались объясненными законом Ньютона (они связаны с влиянием других планет), но оставались еще каверзные 43 угловых секунды. Ничтожная скорость — 43 секунды в столетие (это значит, что полный оборот совершается за 3 миллиона лет), но современная астрономия способна очень точно измерить и столь малую величину. Как ни бились астрономы, объяснить происхождение этих дополнительных секунд не удавалось.

Теория тяготения Эйнштейна дала долгожданное объяснение. Численное совпадение теории с опытом оказалось превосходным¹. Оказывается, все дело в угловой скорости обращения планеты вокруг Солнца — для Меркурия она наибольшая по сравнению со всеми другими планетами (как известно, год на Меркурии длится всего 88 земных суток). Для Венеры скорость поворота перигелия орбиты меньше в пять раз, а для Земли — в десять раз и не превышает четырех угловых секунд в столетие. И все же современная наука сумела с помощью созданных ею приборов изумительной точности измерить и эту ничтожно малую величину — она оказалась, в общем, соответствующей теории. Для остальных, еще дальше отстоящих от Солнца планет сделать это уже практически невозможно.

Интересно, что для искусственных спутников Земли, как это показал советский физик В. Л. Гинзбург, скорость поворота перигелия орбиты оказывается раз в десять больше, чем даже для Меркурия, что связано и с большой скоростью движения спутников, и с возможностью значительно «вытянуть» их орбиты. Это открывает замечательную (впрочем, далеко не единственную) возможность использования спутников для проверки теории относительности. Конечно, такие возможности будут реализованы, хотя это не так-то легко!

Однако теория тяготения Эйнштейна, или, точнее, общая теория относительности, получила, по крайней мере, два других блестящих экспериментальных подтверждения, помимо вращения перигелия Меркурия. Одно из них на первый взгляд вовсе не имеет отношения к тяготению, во всяком случае так, как его понимал Ньютон. Ибо, по теории относительности, в сильном поле тяготения, например, таком, какое создают массивные звезды, меняет свое течение... время.

¹ Тщательный анализ данных о движении Меркурия за последние двести с лишним лет, начиная с 1750 года, подтвердил правильность теории с точностью до одного процента. Точные радарные наблюдения еще почти вдвое улучшили совпадение с теорией.

Мы уже знаем из предыдущей главы об эффекте замедления времени при околосветовой скорости движения. Это так называемое релятивистское замедление времени изучается специальной теорией относительности, созданной Эйнштейном в 1905 году. А еще через одиннадцать лет Эйнштейн опубликовал свою общую теорию относительности и в ней вновь «покусился» на бывшее ранее таким незыблемым время.

Однако теперь ход времени оказался зависящим не от скорости движения тела, а от того, в каком поле тяготения это тело находится. Чем более мощно поле тяготения, тем медленнее идет время, медленнее происходят все процессы — физические, химические, биологические, любые.

Но как проверить это необычное утверждение теории? Лучше всего было бы, конечно, непосредственно сравнить колебания маятника часов здесь, на Земле, и где-нибудь на поверхности массивной звезды. Ну что ж, за чем дело стало? Нет, мы не собираемся, разумеется, отправлять на звездолете маятник куда-нибудь на альфу Центавра.

И все же именно такой опыт был поставлен учеными. Но только, естественно, не с помощью маятника, «заброшенного» на звезду, — «маятник» удалось найти на самой звезде. Наверное, читателю уже ясно, о каком маятнике идет речь: его роль сыграли атомы вещества самой звезды. Ведь известно, что атомы способны излучать свет строго определенной частоты, то есть испускать кванты определенной энергии; об этом рассказывалось в главе 8-й. Атомы становятся как бы эталоном частоты, а значит, могут служить и отличными часами. О подобных атомных часах у нас тоже шла речь в главе 1-й. Ход атомных часов куда точнее наилучших маятниковых.

Вот и становится ясной схема опыта, с помощью которого можно проверить вывод общей теории относительности о замедлении времени под действием тяготения. Нужно сравнить частоту излучения каких-либо определенных атомов на какой-нибудь звезде и у нас на Земле. Если теория верна, то кванты, излучаемые атомами на звезде, будут иметь меньшую частоту. Атомы будут давать те же линии спектра, но как бы сдвинутые в сторону меньших частот, то есть в сторону красных лучей. Если это, как его называют, «красное смещение» существует в действительности, теория верна.

Увы, к сожалению, такой опыт осуществить все же не просто. Интересующее нас «красное смещение» оказывается относительно очень небольшим, есть и другие возможные причины смещения, кроме тяготения.

Прежде всего тут приходится считаться с тем, что излучающая поверхность звезды — это не какое-нибудь зеркало, не твердая поверхность. Массы звездного газа бурлят, постоянно находятся в быстром движении. Между тем науке известно, что когда источник излучения движется по направлению луча света, то частота света меняется — наблюдатель воспринимает больше или меньше световых волн, чем от неподвижного источника. Это изменение частоты колебаний названо эффектом Доплера, хотя, строго говоря, Доплер открыл его для звуковых волн, а на световые колебания распространил русский астроном А. А. Белопольский.

Уже одно только смещение спектра звезды, вызванное бурлящими газовыми массами, настолько существенно, что изменить гравитационное «красное смещение» оказывается практически невозможным. Действительно, гравитационное «красное смещение» обычно соответствует эффекту Доплера при лучевой скорости порядка 10—20 км/сек, которую вполне можно встретить на звезде.

Как жаль! Выходит, поставить нужный нам опыт не удастся? Нет, опыт все-таки был поставлен и дал желаемый результат. Но для этого астрономам пришлось потрудиться и найти подходящий объект для изучения среди мириад звезд, чтобы опыт дал наиболее достоверные и убедительные результаты. Этой «подопытной» звездой оказалась уже знакомая нам звезда-спутник Сириуса, то есть Сириус-В. Помните, с ней был связан триумф теории тяготения Ньютона? Ведь она была открыта сначала теоретически, а потом уже с помощью телескопа. И вот теперь эта звезда дала нам блестящее подтверждение теории Эйнштейна. Впрочем, загадка Сириуса-В еще далеко не до конца разрешена учеными, от этой звезды можно ждать и новых «подвохов».

Но почему же выбор астрономов остановился именно на спутнике Сириуса? Конечно, не потому, что доказательство с помощью «исторической» звезды казалось им более эффективным. Объяснение заключается в необычных свойствах звезды.

Спутник Сириуса принадлежит к числу звезд, которые в астрономии называются «белыми карликами»; собственно, его открытие и было первым открытием звезды — «белого карлика». Это действительно карлики в мире звезд, сам Сириус-В близок по размерам... к Земле, его радиус равен 5400 км. Но они являются очень горячими звездами — температура поверхности Сириуса-В достигает, по последним данным, 32 000°, в пять с лишним раз больше, чем у Солнца. Однако, несмотря

на размеры карликов, их масса вовсе не мала, ибо плотность вещества звезды необычно высока: она достигает многих сотен килограммов и даже тонн в кубическом сантиметре¹. Обычный чайный стакан такого звездного вещества весил бы на Земле сотни, а то и тысячи тонн, как какой-нибудь огромный корабль!

Понятно, почему свойства звезд-карликов привлекли к ним внимание ученых, стремившихся обнаружить на опыте гравитационное «красное смещение». Ведь легко видеть, что поле тяготения этих звезд очень интенсивно: по закону Ньютона, притяжение быстро возрастает с приближением к центру тяготения (обратно пропорционально квадрату расстояния до него). Сила тяжести на поверхности карлика оказывается очень большой; например, на звезде Кейпера она больше, чем на Земле, в 3,5 миллиона раз. Человек весил бы там четверть миллиона тонн! Даже на Сириусе-В вес больше в 50 тысяч раз, чем на Земле. Значит, и замедление времени на ней тоже должно быть значительным, а это, в свою очередь, должно привести к большему по величине «красному смещению» спектра звезды.

Опыт блестяще подтвердил теорию. Гравитационное «красное смещение» спектра «белого карлика» — спутника Сириуса было действительно обнаружено, и его величина оказалась очень близка к предсказанной теорией.

Разумеется, принципиально опыт по проверке влияния тяготения на время можно было бы поставить и в любой земной

¹ Например, один из «белых карликов», так называемая звезда Кейпера, в полтора раза меньше Земли, но ее плотность равна примерно 2,4 т в 1 см³. Звезда-карлик Росс-627 имеет еще большую плотность — примерно 10 т в 1 см³; эта звезда вдвое меньше Земли, но ее масса равна массе Солнца. А совсем недавно астроном Лейтен на обсерватории Маунт-Паломар в США обнаружил рекордно малый по размерам «белый карлик» — его диаметр равен всего примерно десятой части земного! Выходит, эта наименьшая из всех известных звезд только вдвое больше по размерам, чем самый крупный из другого семейства «карликов». Речь идет об астероидах, крохотных «сестрах» Земли в околосолнечном пространстве; диаметр Цереры — крупнейшего астероида — равен примерно 770 км. Но зато плотность нового «белого карлика» тоже рекордна — примерно 1000 т в 1 см³.

Спутник Сириуса менее плотен — в 1 см³ его вещества «всего» около 100 кг, то есть оно в сто тысяч раз тяжелее воды. «Белых карликов» очень много среди звезд — только в нашей Галактике их, по-видимому, не менее миллиарда, хотя пока обнаружено примерно лишь сто. Ученые считают, что «белый карлик» — это «умирающая» звезда, последний этап развития многих звезд. Когда звезда совсем «умрет», то есть остынет, то из «белого» она станет «черным карликом»...

лаборатории. Очевидно, например, что часы, помещенные у потолка любой комнаты, должны идти чуть-чуть быстрее, чем положенные на пол: ведь чем выше, тем слабее сила притяжения к Земле, поскольку больше расстояние до центра земного шара. Однако эта разница столь ничтожно мала, что, казалось, измерить ее невозможно. И все-таки она была измерена. Это было сделано впервые в 1960 году, а затем неоднократно повторено. На помощь пришли новейшие достижения физики, позволяющие измерять исчезающе малые интервалы времени; в данном случае ученые использовали для этой цели эффект Мессбауэра, о котором мы уже упоминали в предыдущей главе.

В приведенном опыте часы (конечно, это были особые, лабораторные атомные часы, излучающие электромагнитные волны очень малой длины) располагались то сверху, то внизу старой башни высотой 22 м, превращенной в научную лабораторию. Их ход тщательно измерялся. Результаты опыта были неопровержимы: сверху «часы» шли чуть-чуть быстрее, чем внизу. Величина гравитационного смещения спектра была ничтожной (порядка 10^{-14}), но оказалась в точности равной теоретической¹. Причем, как и следовало ожидать, когда луч шел снизу вверх, «против» гравитационного поля, то смещение было «красным»; при расположении же источника волн сверху, когда луч был направлен вниз, смещение становилось «фиолетовым», то есть частота испускаемых волн была большей, чем внизу. Ученые иногда объясняют этот факт и так: когда квант движется в гравитационном поле снизу вверх, его энергия уменьшается, поскольку он преодолевает тяготение, и, значит, частота кванта тоже уменьшается (вспомните уравнение Планка); если же квант «падает» в поле тяготения, его энергия и, следовательно, частота растут.

Однако, пожалуй, наиболее примечательным было второе экспериментальное подтверждение правильности общей теории относительности Эйнштейна (помните, мы говорили о двухтаких доказательствах). Дело в том, что теория разошлась с законом Ньютона в оценке того, насколько должен отклониться от прямолинейной траектории свободно летящий космический

¹ Это ускорение часов по мере удаления от Земли было, кстати, учтено и в кругосветном полете, о котором шла речь в предыдущей главе. Ведь самолет летел на высоте 10 км, а там часы спешат по сравнению с земными. Конечно, пассажиров реактивных лайнеров это не должно беспокоить: ведь спешат-то часы на миллиардные доли секунды. Другое дело — проверка «парадокса близнецов»...

корабль, когда он пролетает вблизи звезды, то есть под действием ее мощного гравитационного поля. По Эйнштейну, отклонение должно быть ровно вдвое большим, чем по Ньютону.

Но как проверить на опыте, кто прав?

И тут, как уже случалось не раз, на помощь ученым пришла природа. Оказалось, что для постановки опыта нет нужды посылать с Земли звездолет — можно воспользоваться одним из мириадом естественных, природных звездолетов. Конечно, это должен быть очень непростой звездолет, ибо ученые с Земли должны не только заметить величину отклонения. И все это на невообразимо большом расстоянии — во многие миллионы и даже миллиарды километров. Если бы на борту звездолета был экипаж, то он, конечно, мог бы произвести все необходимые измерения сам и сигнализировать на Землю.

И тем не менее нужные «звездолеты» нашлись. И они тоже сигнализировали на Землю ученым о величине своего отклонения в поле тяготения звезды, но сигнализировали необычно: для этого они самолично прибыли на Землю! Не будем более интриговать читателя и назовем «звездолеты», о которых идет речь. Такими «звездолетами» оказались хорошо знакомые уже нам фотоны — кванты света.

Как известно, бесчисленное множество фотонов, излученных звездами, пересекает во всех направлениях космос. Пролетая вблизи любого массивного небесного тела, например звезды, фотон перестает двигаться по прямой, как в свободном мировом пространстве, его траектория изгибается. Искривление пути фотонов, воспринимаемое наблюдателем как отклонение светового луча от прямолинейного, является обязательным по любой теории тяготения — ведь фотон материальное тело, как и всякое другое, и поэтому притягивается звездой. Но, как уже упоминалось, теория Эйнштейна предсказала вдвое большую величину этого искривления, чем закон Ньютона. Нужна была проверка.

Идея проверки, в общем, кажется очень простой. Единственное ближайшее к нам небесное тело, обладающее достаточно большой массой для того, чтобы вызвать заметное отклонение луча света, — это Солнце. Значит, надо подстеречь момент, когда луч от какой-либо звезды пройдет по пути на Землю в непосредственной близости от Солнца (значит, звезда должна оказаться как бы за Солнцем). При этом луч должен отклониться. Величину отклонения надо измерить.

Подстеречь нужный момент прохождения луча от звезды вблизи Солнца легко — ведь наше дневное светило непрерывно перемещается на фоне неподвижных звезд. Значит, достаточно «поймать» мгновение, когда какая-нибудь звезда окажется у самого края солнечного диска. Тогда и луч от звезды должен будет «почувствовать» влияние Солнца.

Все это верно, только как разглядеть слабый звездный лучик в ослепительном потоке лучей Солнца?

Но природа еще раз приходит на помощь пытливому уму ученого. Она устраивает так, что в самый нужный момент прохождения звездного луча вблизи Солнца этот сверхмощный «светильник»... выключается. Разумеется, погасить Солнце на короткое время, как электрическую лампочку, нельзя, но ведь в этом и нет нужды. Достаточно отгородиться от него какой-нибудь заслонкой, что ли, или хотя бы ладонью руки. Такой гигантской «заслонкой» явилась... Луна.

Как известно, когда Луна оказывается точно на линии, соединяющей Землю и Солнце, и преграждает путь солнечным лучам к нашей планете, то наступает солнечное затмение. Вот это и есть тот долгожданный миг, когда можно попытаться поймать слабенький звездный лучик, испытавший на себе могучее воздействие Солнца.

Решающий опыт был проведен 30 мая 1919 года; солнечному затмению, которое произошло в тот день, довелось навсегда войти в историю науки. На этот раз ученых не волновала чудесная картина затмения, солнечная корона, протуберанцы — их интересовало другое. Они делали один фотоснимок за другим, стремясь точнее запечатлеть искорки звезд на потемневшем небе вблизи самого Солнца.

Наконец фотографии готовы. Теперь осталось немного — сравнить эти снимки с точно такими же снимками этого участка звездного неба, но сделанными не в момент затмения. Если Солнце никак не влияет на луч звезды, то положение всех звезд на небе на обоих снимках будет одинаковым.

И вот в руках астрономов обе фотопластинки. Их накладывают друг на друга и смотрят на просвет. Все точки звезд идеально совпадают, и это не удивительно, но вот ближайшая к Солнцу звезда как бы сместилась, ее положение на пластинках неодинаково. Значит, луч отклонился, Солнце сказало свое слово. Звезда теперь кажется находящейся на продолжении отклоненной части луча, то есть в другой точке неба, дальше от Солнца. Или, может быть, мы ее видим, хотя в действительности она уже спряталась за Солнце.

Но погодите, не торопитесь признать верной теорию относительности. Ведь нам нужно еще установить, какова величина смещения звезды на пластинке, снятой в момент затмения. Вы помните, что, по теории Ньютона, смещение тоже должно быть, но вдвое меньше по величине.

И только после того как измеренная величина смещения оказалась равной предсказанной Эйнштейном¹, сторонники Эйнштейна облегченно вздохнули — теория относительности одержала безусловную победу². Не волновался в тот день, пожалуй, лишь один горячий сторонник теории относительности — ее создатель. Эйнштейн был уверен в правильности теории, по-новому объяснившей мир.

Как же именно объяснила эта теория устройство мира?

На страницах нашей книги мы можем рассказать об этом лишь очень кратко³.

Эйнштейн еще в молодости (если даже не в детстве) стал задумываться над вещами, мимо которых мы обычно проходим, считая их само собой разумеющимися (например, в возрасте четырех лет Эйнштейна удивила стрелка компаса, поворачивающаяся без какого бы то ни было видимого внешнего вмешательства). Не эта ли способность «удивляться» отличает истинного гения? Эйнштейн не раз задавал себе вопрос: почему все тела на Земле падают с одним и тем же ускорением?

Действительно, если исключить сопротивление воздуха (например, поместить тело в вакуум), то ни масса или электрический заряд, ни химический состав или физическое строение, ни геометрическая форма и размеры, ни другие особенности тела никак не сказываются на скорости, с которой оно

¹ Отклонение луча, по Эйнштейну, должно равняться 1,75 дуговой секунды — угол, под которым копеечная монета видна с расстояния около 1800 м! Немного, но более чем достаточно, чтобы угол был измерен и оказался именно таким, а не вдвое меньшим. Строго говоря, экспериментальное значение угла оказалось даже чуть больше теоретического примерно на 20%, и это пока не объяснено.

² Недавно проведен новый эксперимент с измерением величины искривления в поле тяготения Солнца уже не луча света, а радиолуча от далеких небесных тел — квазаров, о которых пойдет речь ниже. В этом эксперименте измеренная величина искривления оказалась в точности соответствующей теории относительности.

³ Тем, кто заинтересуется проблемами общей теории относительности, можно рекомендовать научно-популярные книги: М. Гарднер, «Теория относительности для миллионов». Атомиздат, 1967; И. И. Тугов, «Пространство, время, гравитация». «Знание», 1971; Л. Е. Гуревич, Э. Б. Блинер, «Общая теория относительности после Эйнштейна». «Знание», 1972.

падает. Всегда, во всех случаях, скорость падения возрастает каждую секунду примерно на 10 м/сек. Почему?

Эйнштейну пришла в голову дерзкая мысль: может быть, потому, что тяготение зависит вовсе не от свойств тела, а от свойств пространства, в котором это тело падает?

Или еще. Физика имеет дело с двумя совершенно разными понятиями массы. В одном случае масса — это мера инертности тела, она определяет, какое ускорение получает тело под действием данной силы¹. Это так называемая инертная масса. В другом же случае масса определяет силу, с которой тело притягивается Землей (или вообще другим телом), — вспомните закон Ньютона; это так называемая гравитационная, или тяготеющая, масса. Понятия совершенно разные; по существу, это только исторически так получилось, что в обоих случаях использован один и тот же термин — масса, но могло быть и не так. Но тогда почему обе величины массы идеально точно равны между собой?

Сколько ни ставили ученые экспериментов, чтобы уловить хоть ничтожное различие между обеими величинами, как ни увеличивали точность этих экспериментов, результат был всегда один и тот же: обе массы одинаковы (в новейших опытах советских ученых ошибка могла быть не больше одной десятиллиардной доли процента!). Почему?

Эйнштейн подумал: может быть, в действительности нет никаких двух масс, а есть одна-единственная масса? Но ведь тогда и разные явления — тяготение и инерция — тоже должны быть, по существу, одним-единственным явлением, но поразному проявляющимся.

И, наконец, не потому ли внешнее проявление действия силы — ускорение — никак нельзя отличить от действия тяготения? Ведь если человек находится в летящей ракете (или, если хотите, в обычном лифте), то он, в сущности, никак не может установить, что случилось — исчезло тяготение и потому появилась невесомость или же ракета находится в свободном полете, когда ее двигатели перестали работать (лифт оборвался), и невесомость появилась именно поэтому. Это касается и периода взлета: перегрузки, когда вес возрастает в несколько раз, связаны с разгоном ракеты, то есть с ее ускорением (то же относится и к лифту). Но ведь точно такие же ощущения были бы у космонавта где-нибудь на Юпитере, где

¹ По второму закону Ньютона сила равна массе, умноженной на ускорение.

тяготение гораздо больше. И у Эйнштейна все более крепло убеждение, что, по существу, тяготение и инерция — одно и то же явление и что это явление представляет собой не свойство самого тела, а какую-то особенность пространства, в котором находится тело.

Так родилась главная идея общей теории относительности, объясняющая тяготение не какой-то особой силой, действующей со стороны массивных тел — Земли, Солнца и т. д., — а особенностями пространства вблизи таких тел.

Впервые наука сумела объяснить природу, происхождение тяготения. И абсолютное большинство ученых склонны считать такое объяснение бесспорной научной истиной, пройденным рубежом познания природы.

Что же, однако, происходит с пространством вблизи массивных тел, какое свойство этого пространства проявляется как тяготение?

Детальный рассказ об этом здесь невозможен — общая теория относительности характерна крайне сложным математическим аппаратом. Но суть дела в следующем. Как известно, Галилей и Ньютон считали, что когда тело движется свободно, по инерции, то есть на него не действуют никакие силы, то его движение является прямолинейным и равномерным. Разумеется, свободное движение теоретически недостижимо — ведь во Вселенной нет области, куда не проникало бы тяготение; его действие распространяется во все стороны бесконечно. Только приближенно можно считать свободным движение звездолета в космосе на огромных расстояниях от звезд (Циолковский и назвал поэтому такое космическое пространство свободным) — тяготение там настолько слабо, что его можно считать отсутствующим.

По Эйнштейну, свободное прямолинейное и равномерное движение теоретически неосуществимо по той же причине: всюду действует тяготение. Конечно, действие тяготения Эйнштейн связывает не с появлением какой-то особой силы, а с изменением свойств пространства. Но в свободном пространстве такое изменение свойств исчезающе мало.

Ньютон вполне допускал абстрактную, теоретическую возможность существования пространства, в котором вообще нет материи и тяготение действительно отсутствует даже теоретически, так что там свободное движение по инерции на самом деле прямолинейно и равномерно.

Эйнштейн же считал, что это невозможно принципиально. Ибо, по его теории, без материи просто не существует ни про-

странства, ни времени. Вот почему однажды на вопрос репортера, в чем же, в самой краткой форме, суть общей теории относительности, Эйнштейн 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».

Разумеется, в свободном пространстве, вдалеке от звезд, свободное движение практически неотличимо от ньютоновского, то есть прямолинейного и равномерного. Но приближение к массивным телам меняет свойства пространства так, что свободное движение уже происходит не по прямой и не с постоянной скоростью, хотя по-прежнему на тело не действуют никакие силы. Просто свойства пространства оказываются иными, пространство в поле тяготения, как говорил Эйнштейн, «искривлено» — собственно, именно это искривление и есть проявление тяготения, и есть само тяготение.

Представить себе наглядно «искривление» пространства невозможно — можно искривить поверхность, но... пространство?! И тем не менее такое изменение свойств пространства точно описывается уравнениями теории относительности. Насколько простым кажется по сравнению с ней закон всемирного тяготения Ньютона! Не потому ли к приведенным выше стихам поэта о свете, зажженном Ньютоном, были добавлены следующие шуточные строчки:

Но ненадолго. Дьявол сказал: «Да будет Эйнштейн!» —
И все вновь погрузилось во тьму.

Конечно, дело не в надуманной сложности теории, а в истинной сложности природных закономерностей.

О возможности существования «искривленного» пространства, о том, что именно таковы свойства реального физического пространства, задолго до Эйнштейна задумывался великий русский ученый Н. И. Лобачевский. Он даже разработал (в 1826 году) геометрию пространства, радикально отличающуюся от обычной, излагаемой в школьных учебниках геометрии Евклида — геометрии, которая пригодна лишь для описания «идеального» пространства Ньютона. Однако все попытки Лобачевского на опыте установить «неевклидовость» реального пространства, его «искривленность» не удались; в его время подобные попытки не могли быть успешными. Это стало подвигом Эйнштейна.

Когда свободно движущееся тело — космический корабль, метеор, фотон (помните историческое солнечное затмение?) — приближается к другому массивному небесному телу, например к звезде, то оно начинает двигаться во все более искривленном пространстве поля тяготения этого тела. Поэтому его путь перестает быть прямолинейным, а скорость — постоянной: траектория движения искривляется и превращается в одну из кеплеровских траекторий — эллипс, параболу, гиперболу, в зависимости от скорости и направления движения тела вокруг звезды. Соответственно изменяется и скорость. И все это вовсе не потому, что движение тела перестает быть свободным, что на него начинает действовать сила, именно сила тяготения. Нет, такой силы не существует; просто в «искривленном» пространстве свободное движение уже происходит иначе, «прямые» в новой геометрии уже оказываются не похожими на прежние прямые — таковы особенности этой геометрии.

Земля движется свободно, по инерции, в пространстве, «искривленном» полем тяготения Солнца; Луна — в таком же «искривленном» пространстве вокруг Земли, и т. д. Чем ближе к массивному телу, тем более «искривлено» пространство, тем сильнее поле тяготения. Уравнения Эйнштейна приводят практически к тем же кеплеровским орбитам и скоростям движения, что и закон Ньютона, условие, которое, естественно, является обязательным для любой теории тяготения.

Правда, это совпадение получается неполным. Об одном расхождении мы уже узнали, оно связано с вращением перигелия Меркурия. В этом случае теория Эйнштейна оказалась более точной. Есть и другие незначительные расхождения, но и их очень трудно экспериментально проверить именно из-за их малости. В частности, по теории относительности поле тяготения какого-либо тела зависит и от его собственного движения, например вращения. До сих пор установить на опыте, права ли в этом отношении теория Эйнштейна, не удалось — уж очень мал этот «вторичный» эффект.

Вот почему в науке о тяготении сложилась очень своеобразная ситуация. Теория Эйнштейна, имеющая огромное принципиальное значение, по-новому, более глубоко познающая мир, построена вместе с тем на очень узкой базе экспериментальных подтверждений. Получается как бы научный небоскреб на... курьих ножках.

Окружающая нас Вселенная не предоставляет ученым возможностей провести решающие опыты — по существу, приведенные выше сведения практически исчерпывают в этом отно-

шении все достижения науки. Не удивительно, что ученые энергично изыскивают и тщательно рассматривают любое новое предложение такого рода.

Один из последних подобных экспериментов был проведен с помощью автоматических межпланетных станций «Маринер», запущенных к Марсу в 1969 году. Когда станции уже облетели Марс и находились на расстоянии 400 миллионов километров от Земли, то с Земли был послан радиосигнал на станцию «Маринер-6». Сигнал возвратился на Землю, пройдя весь путь за 43 минуты. Измерения не только подтвердили «запаздывание» сигнала из-за уменьшения скорости его прохождения в поле тяготения Солнца (станция находилась за Солнцем), но это «запаздывание» оказалось равным 200 микросекундам, что отвечает теоретическому значению с точностью до 2—4%. Это наиболее точное из всех полученных до настоящего времени экспериментальных подтверждений общей теории относительности. Скорость света оказалась меньше на 1 км/сек.

Вряд ли после всего сказанного читатель удивится, если узнает, что, когда совсем недавно, в 1963 году, астрономы открыли небесные тела совершенно нового типа, обещающие пролить яркий свет на роль общей теории относительности, это вызвало колоссальный интерес всей мировой науки.

Виновником «торжества» оказалась радиоастрономия, бурное развитие которой за последние два десятилетия неузнаваемо преобразило древнейшую из наук — астрономию.

Когда астрономы стали судить о Вселенной не только по излучению небесных тел в узком видимом участке спектра электромагнитных волн, но и в гораздо более широком радиодиапазоне, то облик Вселенной оказался для них совсем иным. Высокочувствительные радиотелескопы, обладающие несравненно большими размерами, чем обычные оптические телескопы, сумели заглянуть намного дальше в глубь Вселенной, открыли в просторах космоса много новых объектов наблюдений с необычными свойствами.

Но, несомненно, самыми странными и загадочными были открытые в 1963 году источники радиоизлучения, получившие название «сверхзвезд», или «квазизвезд»; теперь их называют «квазарами» — своеобразное сокращение слова «квазизвезда». Уже открыто более двухсот квазаров. По существу, начало открытия относится еще к 1960 году, когда радиоастрономы стали уточнять положение некоторых точечных (то есть обладающих очень малыми угловыми размерами) источников космического радиоизлучения.

Уточнение положения крайне необходимо для того, чтобы попытаться установить, какой именно из видимых на небе объектов является источником радиоизлучения. К сожалению, подобное, как говорят астрономы, «отождествление» радиоисточников с оптически видимыми объектами — очень не простое дело. Радиотелескопы не позволяют определить положение космического радиоисточника с необходимой высокой точностью, а видимых объектов вблизи каждого радиоисточника так много, что, того и гляди, ошибешься и припишешь радиоизлучение вовсе не повинной в этом звезде или галактике. Между тем только точное отождествление позволяет изучить природу и особенности небесного объекта совместными методами обычной и радиоастрономии.

Когда удалось отождествить четыре источника (вот их ставшие знаменитыми номера: ЗС-48, ЗС-286, ЗС-147 и ЗС-273) с довольно слабыми звездочками, то ученые сразу же решили — ибо это было самое естественное предположение, — что это четыре звезды из 120 миллиардов звезд, входящих в нашу Галактику. Но затем начались «странности». Оказалось, что оптический спектр этих звезд — могучее средство исследования в руках астронома — какой-то непонятный. В нем совершенно отсутствовали, например, обязательные для звезд водородные линии, а имевшиеся линии не были знакомы ученым — они не соответствовали «нормальным» спектрам всех известных атомов.

И только в 1963 году удалось разгадать загадку таинственных спектров. Это сделал молодой голландский астроном М. Шмидт. Оказалось, что спектры самые... обычные, но только источники излучения движутся, удаляясь от Земли, со столь большой скоростью, что все частоты излучения вследствие эффекта Доплера сильно уменьшены, то есть спектр смещен в «красную» сторону. Скорость «убегания» источников оказалась колоссальной — от 50 000 км/сек (для ЗС-273) до 180 000 км/сек (для ЗС-286).

Это открытие буквально потрясло ученых, столько в нем было необычного. Хорошо известны «разбегающиеся» галактики, но ведь здесь были не галактики, а звезды — подобного еще не было. Если скорость звезд подчиняется тем же законам, что и скорость галактик, то есть растет пропорционально расстоянию от Земли, то колоссальная скорость звезд (60% скорости света!) свидетельствует о столь же колоссальном расстоянии, на котором эти звезды находятся. Расчеты показали, что это расстояние достигает 6—7 миллиардов световых лет,

а по некоторым данным — даже 12 миллиардов¹, то есть таинственные радиоизлучающие звезды являются вообще наиболее удаленными из всех известных науке объектов.

Но «странности» еще только начинались. Какими же должны быть эти необыкновенные звезды, что их оптическое и радиоизлучение достигало Земли, чтобы их могли видеть и «слышать» астрономы? Расчеты показали, что такие звезды должны светить, как триллионы и десятки триллионов Солнц сразу, они в сто раз ярче всей нашей гигантской Галактики! Какая-то небывалая сверхогромная звезда... Но ведь ученые считали раньше, что звезд с массой больше ста солнечных в природе не существует, они считали существование подобных звезд даже теоретически невозможным!

Однако, может быть, самым главным потрясением было сделанное вслед за тем открытие советских и американских ученых (сообщения об этом открытии были опубликованы, по случайному совпадению, в один и тот же день в СССР и США, именно 9 апреля 1963 года). Оказалось, что некоторые из таинственных звезд... мерцают! Конечно, это было не привычное мерцание всех звезд, вызванное прохождением лучей через земную атмосферу,— звезды на самом деле светили то ярче, то слабее, причем эти изменения яркости оказались и довольно регулярными и весьма сильными. Так, например, сильные мерцания звезды ЗС-273 имели период 13 лет, а на них накладывались более слабые и частые мерцания с периодом в несколько суток.

Но почему же эти мерцания вызвали настоящий шок у астрономов? Объясняется это просто. Раз звезда мерцает, меняет свою яркость, то, следовательно, источник излучения есть действительно звезда — не могут же все миллиарды звезд Галактики мерцать одновременно, в унисон? Размеры звезды не могут быть и очень большими, ибо любой процесс, идущий в недрах звезды и приводящий к изменению ее светимости, не может распространяться со скоростью, большей скорости света, — это вывод специальной теории относительности.

Поскольку период колебаний светимости известен, то этим определяется и длительность распространения процесса, вызывающего такие колебания, а следовательно, и максималь-

¹ По мнению ученых, некоторые квазары, например ЗС-196, ЗС-9, 4С 05.34 и другие, удаляются со скоростью до 200 000 — 250 000 км/сек, до 85% и даже 90% скорости света! При такой скорости «красное смещение» спектра превращает ультрафиолетовый свет в видимый.

ные размеры звезды. Выходит, что ее поперечник не может превышать одну световую неделю, то есть примерно 120 миллиардов километров. Конечно, это неизмеримо меньше размеров галактик (например, поперечник нашей Галактики равен почти 100 тысячам световых лет), но для звезд — гигантский размер. Ведь такая звезда в 100 тысяч раз больше Солнца, она намного превосходит по размерам всю Солнечную систему! Не удивительно, что появился термин «сверхзвезда»¹.

Ученым стало ясно, что если «сверхзвезды», или квазары, — это гигантские сгустки вещества с массой в десятки и сотни миллионов солнц, заключенных в относительно небольшом объеме, то они должны создавать поля тяготения небывалой интенсивности. Пространство вокруг квазаров должно быть «искривлено» чрезвычайно сильно. Но тогда это как раз тот долгожданный случай, когда закон Ньютона неприменим и вступает в силу общая теория относительности. Ведь изучать квазары и пульсары — их зарождение, протекающие в них процессы, всю их дальнейшую эволюцию — с помощью обычных, классических научных представлений невозможно. Необычно мощное поле тяготения квазаров и пульсаров создает качественно новые физические условия, и без сильного эйнштейновского «искривления» времени — пространства тут уже обойтись нельзя. Тяготение заявляет о себе столь необычным, сильным голосом, что только общая теория относительности, справедливая для подобных случаев, может стать средством исследования для ученого.

И прежде всего: откуда черпают квазары колоссальную энергию, которую они излучают? Эта проблема до сих пор не решена наукой — гипотез немало, но все они настолько необычны, что пока ученые не решаются отдать предпочтение ни одной из них. Впрочем, не удивительно, что выдвигаются гипотезы одна другой экзотичнее: такова, по существу, и сама задача, которую они призваны решить.

Судите сами. Квазар, светящийся, как сто галактик сразу, испускающий за секунду больше энергии, чем Солнце за миллиарды лет, обладает общей энергией, достигающей примерно

¹ В 1965 году американский астроном Аллан Сандидж открыл новые странные небесные образования, которые он назвал «сверхзвездными галактиками». Они отличаются от «сверхзвезд» тем, что являются мощными излучателями в видимом диапазоне спектра, но не обладают регистрируемым радиоизлучением. Это своеобразные «радиомолчащие» квазары, их называют, в отличие от квазаров, «квазагами», то есть «квазизвездными галактиками».

10^{60} эрг. Такой колоссальной энергией не обладает ни один другой известный науке небесный объект. Запас энергии Солнца, например, равен, по оценке ученых, 10^{33} эрг — вся энергия этого гигантского ядерного «котла» меньше, чем у квазара, в 10^{27} раз, то есть в миллиард миллиардов миллиардов раз! Даже вся наша гигантская Галактика обладает суммарной энергией все еще в 10^{16} раз меньше, чем один квазар. Его энергия равна всей потенциальной энергии вещества (помните, $E=mc^2$?) миллионов солнц! Миллионы солнц должны целиком аннигилировать, чтобы было получено нужное количество энергии. Но на квазаре аннигиляция не происходит. Откуда же заимствует он энергию, большую даже, чем вся потенциальная энергия вещества?

Впрочем, не одни квазары поставили перед учеными проблему неведомых источников гигантских количеств излучаемой энергии. Несколько раньше эта проблема возникла для так называемых радиогалактик, открытых в 1952 году, и она тоже до сих пор не решена до конца. В некоторых случаях радиоизлучение этих галактик даже превосходит по величине оптическое излучение всех звезд, входящих в галактику.

Советские ученые В. Л. Гинзбург и И. С. Шкловский высказали гипотезу о том, что причиной радиоизлучения являются сверхбыстрые, так называемые релятивистские, электроны. Когда такие электроны оказываются в мощном магнитном поле, они ускоряются, как это происходит в мощных ускорителях — синхротронах лабораторий по ядерной физике; галактика превращается в своеобразный космический «ускоритель» частиц. Вслед за этим электроны испускают квант какой-либо частоты — радио, видимого света или гамма-лучей, в зависимости от энергии электрона и поля, и тормозятся: их скорость снова снижается. Такое излучение получило название магнитотормозного, или синхротронного. Эта гипотеза принята современной наукой. Вероятно, таков же механизм радиоизлучения и квазара. Но откуда берутся релятивистские электроны, что разгоняет их до сумасшедшей, околосветовой скорости — пока неясно.

По одной из существующих гипотез, основанной на теоретических положениях известного советского астронома В. А. Амбарцумяна, необходимая энергия высвобождается при колоссальных космических катастрофах — взрывах ядра галактики, то есть сверхмассивного тела, находящегося в центральной области галактики. Взрыв и может быть началом возникновения самой радиогалактики. Ведь твердо установлено,

что источниками интенсивного радиоизлучения являются так называемые сверхновые звезды. При вспышке сверхновой, представляющей собой взрыв необычайной силы, блеск звезды быстро возрастает в сотни миллионов раз, как произошло, например, в июле 1054 года со сверхновой в созвездии Тельца (это было зафиксировано в то время двумя астрономами — китайским и японским). Образовавшаяся после вспышки знаменитая Крабовидная туманность — остаток от взорвавшейся звезды — представляет собой один из самых мощных известных источников космического радиоизлучения. Может быть, то же происходит и в радиогалактиках, но только в еще значительно больших масштабах?

И действительно, в «урожайном» 1963 году астрономы сфотографировали явление, которое они называли взрывом галактики М-82¹, — самый крупный взрыв, зафиксированный когда-либо с помощью телескопа. Эта галактика находится на расстоянии 10 миллионов световых лет. На полученной фотографии видна отчетливая картина взрыва, происшедшего в центральной области галактики: разлетающиеся во все стороны газовые струи, движущиеся со скоростью во многие сотни километров в секунду и имеющие протяженность в тысячи световых лет, вихри, поднятые невероятным взрывом. Измерение скоростей разлетающихся масс показало, что фотография снята примерно через полтора миллиона лет после взрыва, так что, очевидно, взрыв произошел 11,5 миллиона лет назад. Сила взрыва колоссальная — она соответствует одновременной вспышке 6—10 миллионов сверхновых. Одновременно взорвались миллионы солнц в центре галактики? Не правильнее ли предположить, что это взрыв ядра галактики, в котором, как это предполагает В. А. Амбарцумян, вещество находится в особом, сверхплотном, «дозвездном» состоянии?

Может быть, и квазар есть не что иное, как взрыв ядра удаленной галактики? Может быть, это и есть первая стадия образования радиогалактики? Такая гипотеза пользуется поддержкой ряда ученых.

Многие другие ученые полагают, что квазары и квазаги — это проявление дотоле неизвестных особо бурных гравитационных реакций во Вселенной, что источником их энергии

¹ Это обозначение показывает, что галактика числится в так называемом «Каталоге Мессье» под номером 82. Следует заметить, что по одной из новых гипотез, не пользующейся, правда, широкой поддержкой, галактика М-82 вовсе не взорвалась полтора миллиона лет назад, а разогревается находящимися в ней горячими звездами.

является энергия тяготения. По их мнению, ни один другой источник энергии, существующий в природе, не является достаточно мощным, чтобы объяснить излучение квазаров. Это под силу лишь энергии гравитации, хотя тем самым производится пересмотр прежних взглядов на роль тяготения во Вселенной. Ведь считалось, что, по существу, единственным истинным источником энергии излучения во Вселенной являются термоядерные реакции, а тут выходит, что сила гравитации, самая слабая сила в природе, способна вызвать самые грандиозные энергетические явления!

Как же представляют себе ученые протекание столь мощных гравитационных процессов? В основе таких процессов, по их мнению, лежит «гравитационный коллапс», о котором уже упоминалось в главе 7-й. Этот необычный термин, не сходящий в последнее время со страниц специальных научных журналов, появился сравнительно недавно. До сих пор гравитационный коллапс далеко не до конца изучен, он продолжает оставаться одной из самых жгучих загадок природы.

Сила тяготения характерна тем, что, дай ей волю, не препятствуй ей другие силы, она доведет свое дело до неизбежного логического конца — соберет воедино все тяготеющие массы. Ведь вот, к примеру, сила упругости: когда она начинает свою работу, то неизбежно ослабляется. Вспомните хотя бы всем знакомую рогатку: стоит отпустить резинку — и сила натяжения быстро упадет до нуля. Совсем иное дело — тяготение. Когда камень срывается с вершины горы и под действием тяготения начинает свое стремительное падение, то, не мешая ему ложе горной речки, он домчался бы до самого центра Земли. И чем ближе к этой конечной точке пути, тем сильнее притяжение, тем больше действующая на камень сила.

Именно это свойство тяготения и лежит, по существу, в основе гравитационного коллапса. Если Солнце и другие звезды сохраняют, в общем, устойчивую форму гигантского газового шара, то только потому, что сила тяготения противодействует изнутри звезды другие силы — давление газов и лучевое давление. Не будь их, наступило бы беспредельное сжатие — то самое, которое и названо учеными коллапсом. Оно произошло бы очень быстро; например, при начальной плотности в $1 \text{ г на } 1 \text{ см}^3$ длилось бы всего... полчаса.

В главе 7-й мы уже говорили о разной конечной судьбе звезд в зависимости от их массы. Если масса звезды (а еще раньше — гигантского разреженного газового облака) велика, вдвое-втрое превосходит массу Солнца, а тем более, конечно,

если она превосходит ее в миллионы раз, то никакое внутреннее давление уже не в состоянии противоборствовать тяготению. И тогда начинается все ускоряющееся сжатие: стремительное, катастрофическое падение звезды «в самое себя», своеобразный «взрыв наоборот», взрыв, направленный внутрь. Вот этот-то взрыв — гравитационный коллапс — и высвобождает ту гигантскую энергию тяготения, которая дает себя знать на расстоянии в миллиарды световых лет в виде мощного потока световых и радиоволн. Правда, как именно происходит преобразование высвобождающейся гравитационной энергии в электромагнитную, ученым еще далеко не ясно.

Если бы Ньютон знал о существовании квазаров, пульсаров и гравитационного коллапса, то он сказал бы, что такое неограниченное сжатие звезды за относительно короткое время должно завершиться для наблюдателя невиданным зрелищем концентрации всей массы звезды в самом ее центре в виде сгустка вещества бесконечно большой плотности. Но Ньютон ошибся бы. Ибо его теория не в состоянии правильно трактовать этот процесс — здесь уже поле тяготения слишком сильно, чтобы закон всемирного тяготения был верен. Тут в состоянии помочь только общая теория относительности — наконец-то без нее не обойтись! По существу, такие проблемы современной астрономической науки, как происхождение космических лучей и химических элементов, эволюция звезд и галактик, могут быть изучены только с помощью релятивистской астрофизики, основанной на теории относительности.

И эта теория приводит к исключительно интересным выводам, касающимся судьбы коллапсирующей звезды. По мере развития коллапса поле тяготения вокруг сжимающейся звезды становится все более мощным, гораздо более мощным, чем по закону всемирного тяготения Ньютона. Значит, все сильнее «искривляется» пространство вблизи звезды и сильнее замедляется ход времени в этом пространстве — мы уже знаем эти непреложные следствия теории. Но замедление времени связано не только с этим.

Скорость газовых масс, врывающихся в недра коллапсирующей звезды, все возрастая, приближается к скорости света. А ведь при этом, как мы знаем, течение времени замедляется, как замедляется оно и в результате усиления поля тяготения (помните гравитационное «красное смещение»?). Так процесс сжатия, который для самой звезды непрерывно ускоряется, внешнему наблюдателю начинает казаться все замедляющимся. Секунды на звезде превращаются в годы и столетия для

наблюдателя. Наоборот, все будущее этого наблюдателя прочалось бы для предполагаемого жителя коллапсирующей звезды за считанные секунды.

Вскоре поверхность сжимающейся звезды достигает некоторой невидимой сферы, положение которой совершенно точно предсказывает теория относительности. Когда радиус звезды становится равным радиусу этой сферы¹, или так называемому гравитационному радиусу, то поле тяготения вокруг звезды «искривляется» настолько, что оно просто перестает пропускать наружу какие-либо сигналы из сферы, сигналы продолжающегося коллапса. Ни радиоволна, ни световой луч, ни какой-нибудь фантастический сверхмощный звездолет не способны вырваться из коллапсирующей звезды, прорваться наружу сквозь невидимую гравитационную сферу — такова мертвая хватка поля тяготения. Ведь вторая космическая скорость, которая нужна для преодоления поля тяготения и которая для Земли равна, как известно, $11,2 \text{ км/сек}$, в этом случае становится равной... скорости света. А ее достичь нельзя. Судьба коллапсирующей звезды становится буквально только ее собственным делом, о ней никто ничего узнать более не может.

Для постороннего наблюдателя коллапсирующая звезда никогда не достигнет гравитационной сферы. Замедление времени будет все нарастать, и для наблюдателя радиус звезды будет приближаться к гравитационному радиусу бесконечно долго и медленно — звезда как бы «застынет». Мы не можем видеть полностью сколлапсировавшие звезды, ушедшие «в себя», замкнувшиеся внутри гравитационной сферы, но они перестают быть видными еще до этого. Возможно, таких звезд-невидимок немало во Вселенной. Только огромное притяжение к звезде да еще мощное магнитное поле вокруг нее могут рас-

¹ Она носит название сферы Шварцшильда, по фамилии ученого, впервые теоретически рассмотревшего эту проблему в 1916 году. Радиус этой сферы (гравитационный радиус) равен $\frac{GM}{c^2}$ (здесь G — константа тяготения, M — масса звезды, c — скорость света). Для Земли гравитационный радиус равен примерно $0,5 \text{ см}$, для Солнца — $1,5 \text{ км}$, для «сверхзвезд» с массой в десятки миллионов солнц — радиусу земной орбиты, то есть примерно $100\text{—}150$ миллионов километров. Радиус гипотетических сверхплотных нейтронных звезд, о которых говорилось в главе 7-й, в $3\text{—}10$ раз превосходит гравитационный радиус сферы Шварцшильда. По своему определению гравитационный радиус для любого тела — это такой радиус, когда для тела, сжатого до соответствующих размеров, полная энергия тела Mc^2 оказывается равной его гравитационной энергии $\frac{GM^2}{D}$.

сказать наблюдателю (капитану будущего звездолета?) о том, что он встретился с «затаившейся», сколлапсировавшей звездой, наткнулся на одну из многочисленных, страшных для звездоплавателей «черных дыр» космоса.

«Черные дыры» вызывают теперь огромный интерес ученых из-за уникальных условий в недрах этих небесных тел. Особенно необычными должны быть условия в самом центре «черных дыр», где плотность вещества может стать столь фантастически большой, порядка 10^{93} г/см³, что Солнце при подобной плотности сжалось бы до размеров... протона! Вероятно, для таких условий законы современной физики, как и выводы общей теории относительности, уже несостоятельны. Не удивительно, что по некоторым гипотезам ученых, в центре «черной дыры» лежит своеобразный «вход» в иную вселенную, иной пространственно-временной мир.

Понятно, почему эти необычные небесные тела получили название «черных дыр» (иногда их называют коллапсарами) — это действительно какие-то таинственные «дыры» в космосе, своеобразные бездонные колодцы. Ни один луч, ни одна частица вещества не испускаются этими «дырами», они только поглощают, как какая-то необыкновенная полупроницаемая перегородка, мембрана.

Теория показывает, что нейтронной звезде нужно сжаться совсем немного, примерно всего втрое, чтобы она стала «черной дырой». А ведь чтобы наше Солнце сжалось в нейтронную звезду, его диаметр должен уменьшиться в 70 тысяч раз!

По мнению многих ученых, основная часть вещества во Вселенной заключена именно в «черных дырах», у нас в Галактике их насчитывается, как предполагают, более миллиарда. Считается, в частности, что в центре Галактики находится гигантская «черная дыра» с массой в 600 000 масс Солнца. По ряду гипотез, вращение «черных дыр» или их столкновение между собой может оказаться тем самым таинственным источником энергии гравитационных волн из центра Галактики, зафиксированных Вебером, который так усиленно ищет наука.

Одна из самых «жгучих» задач современной астрономии связана с тем, как можно обнаружить «черную дыру». Ведь пока еще их существование с полной достоверностью не установлено. Да и как, действительно, найти их в космосе, если они никак себя не проявляют? Может быть, удастся зафиксировать влияние гравитационного поля «черной дыры» на окружающие небесные тела? Считается, например, что если будут найдены двойные звезды, в которых один компонент невидим

и обладает подозрительно большой массой (это можно установить по движению второго, видимого компонента), то этот невидимый компонент, возможно, и есть «черная дыра». Поиски подобных двойных систем ведутся, уже выдвинуты первые «кандидаты» в «черные дыры», например входящий в состав двойной звезды рентгеновский космический источник Лебедь X-1 (испускает рентгеновы лучи не сама «черная дыра», а падающее на нее межзвездное вещество) и другие.

Но вернемся к квазарам. Учеными высказываются и другие гипотезы о природе этих явлений. Например, не исключено, что квазары — результат столкновения двух... элементарных частиц вещества. Невидимые, ультрамикроскопические частицы и сверхгигантская звезда?! Какая связь между ними?

Но если эти самые ультрамикроскопические частицы движутся с огромной, почти световой скоростью, то они несут в себе колоссальную энергию. Следовательно, и масса этих частиц оказывается феноменально большой — ведь с приближением к скорости света масса частиц возрастает бесконечно (помните главу об этой удивительной скорости?). Поэтому если происходит случайное столкновение двух подобных частиц, то, как считает теория (в частности, эта точка зрения высказана советским ученым Д. И. Блохинцевым), его результатом может быть образование огромного числа новых частиц, множественное их «рождение» с выделением всей энергии столкнувшихся частиц. Столкновение каких-нибудь двух ультрарелятивистских протонов может привести к рождению не только звезд, но и целых... галактик! Может быть, квазар и есть результат одного из таких феноменальных столкновений? А может, и все видимые «разбегающиеся» галактики, вся наша Метагалактика есть такое же следствие невообразимого столкновения?!

Разумеется, пока все это только гипотезы ученых; они привлекают особое внимание потому, что очень уж необычны и грандиозны природные процессы, о которых идет речь. И еще потому, что, изучая их, наука все глубже постигает тайну гравитации, эту одну из самых сокровенных тайн природы.

Одним из выводов общей теории относительности является то, что все тела в некоторых условиях, например при вращении, должны излучать энергию в виде крайне слабых гравитационных волн, распространяющихся со скоростью света. Существуют ли эти волны в действительности? По расчетам, их мощность очень мала — вся Солнечная система излучает гравитационные волны общей мощностью меньше киловатта.

Но при некоторых грандиозных космических процессах, например при том же коллапсе квазаров, мощность гравитационных волн может стать большой. Как обнаружить, измерить их величину для сравнения с теорией? Как попытаться поставить гравитационные волны на службу людям, например в качестве замечательного потенциального средства связи?

Все эти вопросы еще ждут своего решения.

Не могут ученые примириться и с тем, что гравитация занимает столь особое положение среди всех остальных сил в природе: это единственное силовое поле, имеющее «геометрическое» происхождение. Не мог согласиться с этим, впрочем, и Эйнштейн, последние тридцать лет своей жизни затративший на поиски единой, гармоничной картины мира, в которой гравитация была бы органически связана с другими силами. К сожалению, эти попытки остались безуспешными.

Вряд ли ученые прекратят усилия связать общую теорию относительности с квантовой механикой. Можно ли действительно согласиться с тем, что эти два кита современной физики «не знакомы» друг с другом? Ученые лелеют надежду экспериментально обнаружить «кванты гравитации», получившие название гравитонов, найти скрытую пока от их взора теснейшую (в это им хочется верить) связь между обеими теориями, втайне рассчитывая на то, что эта связь поможет построить и общую теорию элементарных частиц, столь необходимую современной физике.

Не удивительно, что ученые настойчиво пытаются решить все эти и многие другие не решенные пока задачи теории тяготения, обсуждают их на широких симпозиумах и конференциях. Творческий гений человека не может примириться с неясностью его представлений о природе. И на свет появляются всё новые и новые теории, гипотезы, предположения — попытки объяснить еще не объясненное.

Одна из таких гипотез выдвинута знаменитым английским ученым П. Дираком, о котором мы уже говорили. Этот замечательный физик современности в 1938 году сделал попытку объяснить подмеченное им действительно удивительное обстоятельство.

Оказывается, если выразить основные физические константы (о некоторых из них шел рассказ в нашей книге) в единицах длины и времени, характеризующих микромир, то все эти константы естественным образом делятся на определенные безразмерные группы, отличающиеся друг от друга по величине в 10^{40} раз. Почему? Почему, например, отношение сил

электромагнитного и гравитационного взаимодействия равно 10^{40} и этой же величине равен возраст Вселенной? Почему перечень видимой нами Метагалактики тоже в 10^{40} раз превосходит диаметр элементарной частицы? Почему таково же отношение плотности нуклона — ядерной частицы и средней плотности вещества во Вселенной? Вряд ли все это может считаться простым совпадением. Ведь наша современная эпоха не более чем случайность в развитии Вселенной. Почему же основные константы оказались численно связанными с ее возрастом?

И Дирак делает предположение: если считать, что электромагнитное взаимодействие не меняется со временем, следует сделать вывод, что гравитационное взаимодействие с увеличением возраста Вселенной... уменьшается! Иначе ведь не понять, почему отношение электромагнитного взаимодействия к гравитационному равно 10^{40} , то есть возрасту Вселенной. Значит, гравитационная константа уменьшается со временем, гравитация «дряхлает»!

Однако такое изменение гравитационной постоянной, вероятно, должно было привести к следствиям, которые можно установить прямыми наблюдениями. Очевидно, величина гравитационной постоянной, в соответствии с гипотезой Дирака, изменялась быстрее в далеком прошлом, и чем дальше, тем ее изменение становится все более медленным. Сейчас это уменьшение составляет менее одной десятиллиардной доли в год¹. Можно ли установить как-нибудь прямые следствия такого уменьшения?

Расчеты показывают, например, что при подобном уменьшении гравитационной постоянной диаметр земного шара должен ежегодно возрастать на полмиллиметра. Поди измерь... Правда, некоторые ученые-геофизики считают, что постепенное увеличение диаметра Земли происходит в действительности и что в далеком прошлом земной шар был вдвое меньше по диаметру (по расчетам других ученых, за миллиард лет окружность Земли увеличилась лишь на 300 километров). Пораительно, что при таком допущении все современные материки очень точно подходят друг к другу по очертаниям своих берегов, образуют единый континент, своеобразный «праматерик», о чем подробнее говорилось в главе 3-й. Есть ученые, считаю-

¹ Наблюдения за изменением орбит Солнечной системы за последние шесть лет показали, что изменение гравитационной постоянной во всяком случае не может быть больше $4 \cdot 10^{-10}$ в год.

щие, что дрейф континентов нельзя объяснить иначе, чем расширением Земли.

Может быть, так и было в действительности? Но некоторые факты показывают, что расширение земного шара происходило и в более позднее время (разрывы океанского дна и т. п.). Эти явления могут быть объяснены и другими причинами. То же относится и к предположениям о подобном расширении Луны.

Вряд ли может считаться серьезным доказательством и тот факт, что средний рост людей на земном шаре, как это бесспорно показывает статистика, постепенно повышается — растет спрос на одежду и обувь всё больших размеров. По данным Организации Объединенных Наций, средний рост человека в нашем веке увеличился на 7—10 см. Конечно, это может объясняться и, вероятно, объясняется иными причинами, никакого отношения к силе тяжести не имеющими.

Увеличенное в прошлом значение гравитационной постоянной должно было вызвать и другое следствие — увеличение светимости всех звезд, в том числе и Солнца. Излучение звезд сильно зависит от величины гравитационной постоянной, так как сила тяготения определяет сжатие звезды и поэтому характер и интенсивность ядерных реакций в ее недрах. Но в этом случае в древности Солнце должно было сиять нестерпимо жарко, гораздо ярче, чем сейчас¹. Не этим ли объясняется, например, жаркий климат в каменноугольный период, достоверно установленный наукой? Однако, по расчетам, и температура океана в древние времена должна была быть в этом случае слишком высокой. Как тогда в нем могла зародиться жизнь?

В общем, ученые располагают недостаточными данными, чтобы судить о том, было ли в действительности в прошлом сильнее тяготение. Так что гипотеза Дирака непосредственно проверена пока быть не может, эта проверка еще впереди.

Вслед за Дираком и ряд других ученых разработали да и сейчас разрабатывают гипотезы, в которых гравитационная постоянная не считается постоянной; впрочем, в некоторых гипотезах сомнению подвергается постоянство и других важнейших физических констант. В ряде случаев такие гипотезы

¹ В 1969 году была выдвинута гипотеза, объясняющая многие необычные свойства квазаров именно уменьшением гравитационной постоянной со временем. Мы видим квазары такими, какими они были миллиарды лет назад. Но если тогда гравитационная постоянная была больше, то становится понятной и трудно объяснимая огромная светимость квазаров.

позволяют осуществить хоть и тонкую, но все же реально возможную экспериментальную проверку.

Ряд лет работает над новой теорией тяготения и советский физик профессор К. П. Станюкович. Его идеи, развивающие общую теорию относительности, изложены в вышедшей в 1965 году книге¹. По этой гипотезе, также не остается неизменной со временем не только гравитационная константа, но и некоторые другие фундаментальные постоянные, в том числе и те, о которых у нас шла речь в предыдущих главах; а именно: масса, электрический заряд элементарных частиц и постоянная Планка. Это объясняется тем, что, по мнению автора гипотезы, все элементарные частицы непрерывно излучают в окружающее пространство «кванты гравитации» — гравитоны, в результате чего теряют свою первоначальную энергию и массу. По расчетам, каждую секунду в 1 см^3 пространства в результате такого излучения в гравитационное поле переходит 10^{-45} г вещества (масса гравитона должна быть исчезающе мала: $5 \cdot 10^{-66} \text{ г}$).

Уравнения, выведенные К. П. Станюковичем, не только позволяют получить все экспериментально установленные эффекты общей теории относительности, но и ряд новых, очень важных выводов. Особенно ценно, пожалуй, то, что с помощью новой гипотезы впервые удалось перебросить мост между гравитационной постоянной (впрочем, теперь уже не постоянной) и физическими константами микромира. Это ведь давнишняя и заветная мечта ученых! Гипотеза К. П. Станюковича допускает экспериментальную проверку, и научный мир будет с нетерпением ждать этой проверки.

Однако наш экскурс в науку о гравитации затянулся, и нам пора приступить к главной задаче — путешествию в мир иных констант, в котором на этот раз иную величину имеет константа гравитации. Современное значение этой константы принято равным $6,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{см}^3}{\text{г} \cdot \text{сек}^2}$.

Приведенная здесь величина является стандартной и принятой во всем мире. Но все же она известна менее точно, чем другие фундаментальные физические константы: если для них достигнута точность до шестого или даже до десятого знака, то в приведенном выше значении гравитационной постоянной цифра «7» не бесспорно верна!

В Государственном астрономическом институте имени

¹ К. П. Станюкович. «Гравитационное поле и элементарные частицы». «Наука», 1965.

П. К. Штернберга и научных учреждениях других стран ведутся эксперименты по дальнейшему уточнению величины гравитационной постоянной, эксперименты весьма сложные и тонкие из-за сравнительной малости этой постоянной.

Интересно, что по некоторым опытам величина гравитационной постоянной оказывается зависящей от... электрического заряда тяготеющего тела! Конечно, эти опыты еще должны быть не раз проверены, но их подтверждение имело бы поистине революционное значение: ведь они свидетельствовали бы о тесной связи гравитационного и электромагнитного полей, которую пока тщетно ищут физики-теоретики.

Итак, мы в мире, где константа гравитации больше ровно в десять раз. Это значит, что в общепринятом значении гравитационной константы показатель степени у десятка равен уже не минус 8, а минус 7. Только и всего...

Только и всего? Но ведь возросшая в десять раз гравитационная константа означает, что во столько же раз возросли все силы тяготения в природе. Каждый из нас стал весить вдесятеро больше, но вес в несколько сот килограммов (а для тяжеловесов — тонна и больше!) не под силу нашим костям: двигаться и даже стоять мы более не можем, наш удел — только лежать. Но и в этом случае такие десятикратные перегрузки вынести нельзя — ведь даже высокотренированные летчики и космонавты переносят меньшие перегрузки, да и то лишь в течение короткого времени. Значит, жизнь человека на Земле окажется невозможной. Впрочем, не только человека, но и большинства живых организмов — как животных, так и растений. С грохотом будут рушиться вековые деревья, ломаться крылья птиц. Разве только простейшие, одноклеточные уцелеют, да и то, вероятно, лишь в результате длительной эволюции и приспособления к новым условиям.

Но дело не ограничится нашим собственным весом. Будут рушиться здания, выйдут из строя машины. Сильное сжатие земного шара вызовет грозные тектонические явления — вулканические извержения, землетрясения.

«Тяжелее» станут и все небесные тела, в том числе, конечно, и Земля и ее вечный спутник — Луна. Теперь уже скорость Луны в ее движении вокруг Земли, равная, как известно, примерно 1 км/сек , окажется недостаточной для того, чтобы сохранить старую, почти круговую орбиту со средним расстоянием от Земли $384\,000 \text{ км}$ ¹. Луна начнет падать на Землю по

¹ Для этого понадобилась бы скорость, увеличенная в $\sqrt{10}$ раз, то есть равная примерно $3,2 \text{ км/сек}$.

эллиптической орбите, и катастрофическое столкновение обоих небесных тел окажется неизбежным.

Однако Земле грозит не только одно это столкновение. Сама Земля также устремится навстречу Солнцу, сойдя со своей извечной орбиты; если она и не ворвется в пылающие недра нашего дневного светила, то пройдет так близко от него, что все сущее на земной поверхности испарится и сгорит.

Впрочем, сгорит не только поэтому. Ведь увеличившаяся сила тяготения сожмет и само Солнце, что резко изменит характер термоядерных реакций в его недрах. Солнце станет светить в миллионы раз сильнее! Легко представить себе все последствия этого. Не исключено даже, что такое резкое изменение температуры в недрах Солнца превратит его в новую или сверхновую звезду, вызовет перестройку ядерных реакций, которая приведет к взрыву колоссальной силы. Тогда погибнет вся Солнечная система.

Подобные космические катастрофы будут происходить всюду во Вселенной. И не только они одни. Многократно усилившееся тяготение будет неумолимо, железной хваткой сжимать воедино гигантские космические газовые туманности, галактики, звезды. Резко увеличится не только число, но и интенсивность различных звездных и галактических взрывов, возрастет число сверхзвезд, гравитационный коллапс станет рядовой судьбой многих небесных объектов. Вселенная будет пронизываться во всех направлениях многократно усилившимся смертоносным потоком космических лучей, нейтринным, рентгеновским и гамма-излучением.

Вот что будет означать уменьшение числа нулей в величине гравитационной константы с восьми до семи.

А теперь перенесемся в мир иных констант с уменьшенной, а не увеличенной в десять раз гравитационной постоянной.

Конечно, приятно приобрести необычайную легкость в движении (все-таки вес стал меньше в десять раз!), совершать акробатические прыжки, затмевающие «лунные» кадры из научно-фантастических кинофильмов, ставить невиданные спортивные рекорды. Но вряд ли нам захочется блеснуть всеми этими возможностями в мире, который нам их предоставил. Ибо, пожалуй, во всем остальном это будет не слишком-то уютный мир.

Из-за уменьшения гравитационной постоянной земной шар увеличится в размерах, его поверхность избороздят разрывы, начнутся массовые землетрясения и вулканические извержения. Вот ведь как получается: больше ли станет константа тяготения или меньше, все равно следствие одно — бурная тек-

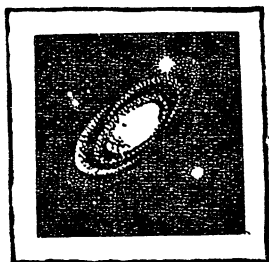
тоническая деятельность. Это и не удивительно, ведь в обоих случаях нарушается существующее устойчивое равновесие земной коры и начинаются передвижения ее слоев.

Бурные горные речки перестанут быть бурными, а в широких степных вода и вовсе почти перестанет течь. Даже снег и дождь будут почти что висеть неподвижной пеленой в воздухе, ветры, по существу, исчезнут вовсе. Дым из многочисленных топок котлов и печей не пойдет в трубы и будет стлаться над землей. Из-за того, что вертикальные воздушные течения станут очень слабыми, воздух у земли будет загрязненным, дышать будет трудно, наступит господство смога (помните главу 5-ю?).

Но это еще не самое страшное. В десятикратно ослабленном поле тяготения прежняя первая космическая скорость, то есть круговая, станет уже гиперболической. Это значит, что Земля навсегда лишится обоих светил — и ночного и дневного. Но если утерю Луны еще пережить можно, то иное дело — Солнце. Земля, отправившаяся в бесконечное скитание по просторам космоса, быстро превратится в безжизненную, оледеневшую пустыню. Та же судьба постигнет и другие планеты Солнечной системы, и она перестанет существовать.

Впрочем, если бы Солнце сохранило свою планетную семью, то от него было бы мало толку. Ведь светимость Солнца из-за уменьшения в десять раз гравитационной константы должна снизиться в миллионы раз. Вероятнее же всего, термоядерные реакции на Солнце просто прекратятся, и оно превратится в потухшую звезду, в гигантский (размеры-то Солнца тоже возрастут) холодный газовый шар.

Бесчисленное множество таких потухших звезд будет населять некогда звездное небо. Всюду, где была цивилизация на планетах иных солнечных систем, она погибнет. Воцарится мрачный, мертвый мир космоса...



В МЕСТО ЗАКЛЮЧЕНИЯ

КОНСТАНТЫ, ЕЩЕ НЕ ОТКРЫТЫЕ

Вот мы и закончили наши путешествия в мир иных констант. Может быть, читателю покажется, что это были путешествия по несколько произвольному маршруту, избранному автором книги. Не исключено, действительно, что существуют маршруты и поинтереснее, ведь столько разных дорог открывается перед ищущим взором любознательного. И мир физических констант современной науки настолько обширен и разнообразен, что, конечно, его не исчерпать в одной такой книге. Тут путешествий не на одну жизнь.

Но, пожалуй, самые увлекательные из возможных путешествий на самом деле остались за страницами книги. И вовсе не потому, что автор ими пренебрег. Вероятно, увлекательнее всего было бы путешествие в мир, не известный пока никому, — в мир не открытых констант.

А что такой мир существует, сомнений нет, как нет сомнений и в том, что он обязательно будет открыт.

Удивительно ли, что особенно много споров среди ученых возникает о физических константах? Более того, именно с константами связаны некоторые весьма существенные «непорядки» в физике вообще. И это естественно: роль констант исключительно велика. Константы олицетворяют собой, по существу, взаимодействия тел (или, точнее, как говорят ученые, физических объектов), внутренние связи между микромиром, макромиром и миром Большого космоса, или, как его иногда называют, Мегамиром.

Не удивительно, что ученые в последнее время особенно настойчиво ищут связи между фундаментальными физическими константами, определяющими облик всей Вселенной.

Что же, собственно, не ладится в нашем мире физических констант?

Прежде всего, конечно, вряд ли можно примириться с наличием столь большого числа (ведь мы познакомились только с ничтожной их частью) разнообразных эмпирических физических констант фундаментального характера. Какие же это фундаментальные, если их такое множество? Уж очень это напоминает изобилие так называемых элементарных частиц, обнаруженных современными физиками. Пока таких частиц было две-три, можно было предполагать, что это действительно своеобразные «кирпичи», из которых сложена Вселенная. Но двести!.. Ведь это вдвое больше, чем число химических элементов в природе.

А разве не то же самое происходит с фундаментальными константами? Как тут не подумать о явной необходимости сокращения раздутых константных (а заодно хорошо бы и «элементарно-частичных») «штатов» и введения понятий действительно фундаментальных!

Ну, а то обстоятельство, что теория пока не в состоянии получить теоретически ни одного значения фундаментальной константы — ведь все они найдены опытным путем!

Далее. Оказывается, из некоторых знакомых нам фундаментальных констант, имеющих вполне определенную физическую размерность, можно составить новую константу, на этот раз уже безразмерную. Речь идет о заряде электрона e , постоянной Планка h и скорости света c : безразмерная кон-

станта $\frac{hc}{e^2}$ равна, оказывается, 137. Почему? Судя по всему,

это число должно играть весьма важную роль в науке — ведь оно свидетельствует о какой-то внутренней связи между важнейшими физическими константами. Так в действительности и получается. Но почему, какая это связь, науке еще далеко не ясно; гипотез много, но достоверной нет. Во всяком случае, наличие такой связи непосредственно показывает, что из всех трех физических констант, составляющих число 137, лишь две представляют собой истинные фундаментальные константы, поскольку третья может быть получена по значениям первых двух. Но если одна из трех фундаментальных констант вовсе не константа, то это может привести к новым поразительным открытиям для всей современной физики.

Наконец, ученые все чаще задают себе вопрос о том, являются ли фундаментальные физические константы в действи-

тельности строго постоянными или же они изменяются со временем, как об этом говорилось в предыдущей главе, и их современные значения просто соответствуют эпохе, в которой мы живем?

Конечно, этим не исчерпываются «неувязки» в мире физических констант; приведенный перечень можно было бы продолжить. Но, пожалуй, и так ясно, что новых открытий в этом мире не избежать. И нет сомнений, что эти открытия будут неразрывно связаны с грядущей научной революцией.

Неизбежность и близость этой новой великой революции, в естествознании вообще и в физике в частности, ощущают все ученые. Этим грядущая революция разительно отличается от той, первой, начавшейся на самом рубеже двух столетий — прошлого и нынешнего — и длившейся всю первую четверть нашего века; ей посвящена замечательная книга Владимира Ильича Ленина «Материализм и эмпириокритицизм». Тогда революция началась, по существу, со случая (помните Беккереля с его случайным открытием радиоактивности?) и была для ученых полной неожиданностью.

Ведь не случайно перед самым началом научной революции, результатом которой было крушение здания «старой» физики, крупнейшие ученые не раз говорили о практически идеальном завершении строительства этого здания, о его совершенстве и законченности. Известный английский физик Кельвин в своей речи, приуроченной к началу XX века, даже... пожалел физиков следующих поколений, на долю которых «не осталось ничего существенного». А между тем в этой же речи он прозорливо указал на «два маленьких облачка» на безоблачном горизонте физики: трудности, связанные с объяснением теплового излучения и опыта Майкельсона.

Мы уже знаем, что первая проблема привела после работ Планка, который ввел понятие кванта, к созданию квантовой теории — одного из двух китов, на которых базируется современная физика. Вторая проблема получила свое разрешение в теории относительности Эйнштейна, ставшей другим «китом» физики. Хороши «облачка»!..

Ученые напряженно ищут путей для создания новых теорий, лишенных недостатков современных представлений. Тут слово за новым Эйнштейном...

Одно безусловно ясно: новая физика создаст стройную картину мира, соответствующую всеобщей гармонии самой природы. Появится теория, объясняющая структуру времени и пространства так, что она окажется единой и для «недр»

микрочастиц, и для бесконечных просторов космоса. Так, по мнению советского физика академика В. Л. Гинзбурга, «создание квантовой космологии, по-видимому, является сейчас космологической проблемой № 1».

Теория свяжет воедино свойства всех известных науке силовых полей (в том числе, конечно, и стоящего ныне особняком гравитационного поля) и свойства элементарных частиц.

Исчезнет «великое многообразие» этих частиц, как и множество эмпирических физических констант; возникнут новые, истинно элементарные частицы и фундаментальные константы.

Квантовая теория и теория относительности заключат тесный союз в рамках единой общей теории.

Может быть, для этого придется ввести такие «пугающие» многих ученых и малопонятные новые «константы», как «квант времени» и «квант пространства»? Этакие своеобразные, более уже неделимые элементарные «частички» времени и пространства? Может быть... Ведь уже делаются попытки даже количественной оценки этих невиданных и непредставимых «квантов» времени — пространства. Что ж, возможно и это. Ученые единодушны в мнении о том, что грядущая научная революция принесет с собой такие теории, которые будут самыми «сумасшедшими», — это значит, что они будут коренным образом не соответствовать старым представлениям. Иначе какая это революция?..

Пока никто не знает, какова она будет, эта революция, но она произойдет неотвратно: этого требует развитие науки. А его не остановишь. И работы здесь хватит на ученых любых грядущих поколений. Ибо поистине фундаментальной идеей естествознания является принцип, сформулированный Владимиром Ильичем Лениным: материя неисчерпаема!

И нет ничего увлекательнее на свете, чем этот никогда не прекращающийся шторм сокровенных тайн природы.

ОГЛАВЛЕНИЕ

<i>Предисловие</i>	3
------------------------------	---

Часть первая. ЗНАКОМЫЕ НЕЗНАКОМЦЫ

1. Космический волчок	8
2. Орбитальная карусель	30
3. В невидимой паутине	42
4. Секреты звука	56
5. Эликсир жизни	74

Часть вторая. КОНСТАНТЫ-СФИНКСЫ

6. Идеальная материя	102
7. Тайны электричества	122
8. В недрах атома	150
9. Самая удивительная скорость	172
10. Известная всем и никому	198

<i>Вместо заключения. Константы, еще не открытые</i> . . .	235
--	-----

К ЧИТАТЕЛЯМ

Отзывы об этой книге и других книгах издательства «Детская литература» просим присылать по адресу: Москва, А-47, ул. Горького, 43. Дом детской книги.

*

ДЛЯ СРЕДНЕГО И СТАРШЕГО ВОЗРАСТА

Карл Александрович Гильзин

В НЕОБЫКНОВЕННОМ МИРЕ

Ответственный редактор Э. П. Микоян. Художественный редактор Л. Д. Бирюков. Технические редакторы В. К. Егорова и И. Я. Колодная. Корректоры Л. А. Рогова и Н. А. Сафронова. Сдано в набор 8/IV 1974 г. Подписано к печати 16/VIII 1974 г. Формат 60×84^{1/16}. Бум. типогр. № 2. Печ. л. 15. Усл. печ. л. 13,95. Уч.-изд. л. 14,43. Тираж 100 000 экз. А03946. Заказ № 2583. Цена 56 коп. Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Детская литература». Москва, Центр, М. Черкасский пер., 1. Ордена Трудового Красного Знамени фабрика «Детская книга» № 1 Росглавополиграфпрома Государственного комитета Совета Министров РСФСР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. Москва, Сущевский вал, 49.

*

Гильзин К. А.

Г47 В необыкновенном мире. Научно-публицистическая литература. Изд. 2-е, испр. и доп. Оформл. Ю. Копейко. М., «Дет. лит.», 1974.

239 с. с ил.

Каждая глава этой книги — своеобразный обзор завоеваний науки, рассказ о тайнах природы, еще не разгаданных учеными, знакомство читателя с кругом интересных мировоззренческих проблем.

Цена 56 коп.