

ИЗДАТЕЛЬСТВО

«МИР»

MYSTERIES
OF THE
UNIVERSE

WILLIAM R. CORLISS

THOMAS Y. CROWELL COMPANY
NEW YORK
1967

УИЛЬЯМ КОРЛИСС

ЗАГАДКИ ВСЕЛЕННОЙ

ПЕРЕВОД С АНГЛИЙСКОГО

И. Е. РАХЛИНА

ПОД РЕДАКЦИЕЙ И С ПРЕДИСЛОВИЕМ

С. А. КАПЛАНА

ИЗДАТЕЛЬСТВО «МИР»

МОСКВА 1970

Небольшая по объему книга известного американского ученого в популярной форме знакомит читателя с теми нерешенными проблемами, которые сейчас находятся на переднем крае науки. Эти проблемы можно охватить одной большой темой — происхождение и эволюция известной нам Вселенной.

Книга начинается с рассказа о современной космологии, о борьбе гипотезы Стационарной Вселенной и гипотезы Большого Взрыва, или «горячей Вселенной». Затем автор переходит к квазарам и определению возраста Вселенной. Отдельные главы посвящены теории относительности и эволюции звезд. Потом следуют главы об 11-летнем цикле солнечной активности, каналах Марса, Красном Пятне Юпитера, кольце астероидов и кратерах Луны. Книга завершается рассказом о поисках внеземных цивилизаций.

Увлекательно и доходчиво написанная книга встретит хороший прием у широких кругов читателей.

*Редакция космических исследований, астрономии
и геофизики*

ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА

Эта книга начинается с изложения космологии, которую автор довольно удачно определил как науку, «рисующую самые грандиозные картины самыми разбавленными красками». Забавно, что это определение можно применить и к предлагаемой книге — это картина современной астрономии (не только космологии), нарисованная «разбавленными» красками.

Сопоставить эту книгу с другими научно-популярными книгами можно так же, как картины художника, тщательно выписывающего все детали, с картинами другого художника, который, не заботясь о деталях, стремится создать общее впечатление, иногда непропорционально увеличивая то, что он считает более важным.

Автор отнюдь не злоупотребляет конкретными результатами и числами, полученными в ходе научных исследований, — чисел вообще в книге мало. Я бы даже сказал, что он старается вызвать у читателя восхищение грандиозными картинами, разворачивающимися перед всяким, кто начинает знакомиться с тем, чем занимается астрономия в наши дни. Здесь и нужны «разбавленные» краски, а не конкретные детали.

Автор также не старается охватить всю астрономию — например, здесь почти ничего нет о сверхновых звездах, о спиральных рукавах или о других подобных объектах, непременно фигурирующих в других научно-популярных книгах. Что же, дело художника, стремящегося передать свое восхищение, выбрать то, что он считает более важным. И здесь излишняя детализация может привести к тому, что «за деревьями не увидишь леса».

Редактируя эту книгу, я старался сохранить замысел автора и поэтому не поддался искушению дополнить ее тем, чего в ней нет. Но обойтись совсем без примечаний не удалось. В первых трех-четырех главах автор допустил ряд ошибок. По-видимому, он просто недостаточно ясно понимает сущность теории Большого Взрыва, и эти ошибки пришлось исправить. А в связи с этим надо было еще рассказать о работах

А. А. Фридмана, об открытии реликтового фона и последних данных о квазарах. Нельзя было умолчать и о пульсарах.

Конечно, надо было упомянуть о высадке человека на Луну; добавлена фотография человека на Луне; наконец, исправлены другие, правда немногочисленные, ошибки автора. Так что в конце концов примечаний оказалось много, но редактор надеется, что они не испортили замысла и характера книги.

И еще одна особенность этой книги. Она написана, так сказать, свободным языком. Автор не придерживается выработанного канона для научно-популярных книг. В книге много прописи, рассказываются забавные случаи из истории астрономии. Автор иногда называет исследователей «ученой братней». Очень метко сказано о квазарах (а теперь это можно применить и к пульсарам): «Время от времени госпожа Природа подкрадывается к ученым и дает им хорошего пинка». Автор иногда апеллирует и к богу, — но и это с иронией. Это не «высшее существо-создатель», а просто своеобразное признание того, что «ученая братня» до сих пор мало что может сказать о многих кардинальнейших проблемах науки.

И наконец последнее замечание. В популярных книгах иностранных авторов редко встречаются ссылки на работы русских и советских ученых. Здесь такие ссылки есть, хотя указаны и не самые лучшие работы. Разумеется, ссылок на работы американских, английских и других зарубежных ученых непропорционально много. Однако, учитывая характер книги, редактор не счел пужным (за редким исключением) вносить в текст указания о работах наших ученых, зато дополнен список книг, рекомендованных для дальнейшего чтения. Мы надеемся, что читатель сможет при помощи этих книг и статей составить себе правильное представление о роли наших ученых в разработке грандиозной картины мира, так красочно описанной автором этой книги.

С. Каплан

НИ НАЧАЛА, НИ КОНЦА?

Кто из нас звездными ночами не смотрел на небо и не размышлял о том, где же кончается звездный мир? И если его конец действительно существует, то что это за таинственная перегородка, за которой нет ни единого атома и ни малейшего проблеска света? Даже самые мощные телескопы не находят конца звездным полям, которые кажутся тянущимися в бесконечность. Возможно, пространство не имеет ни начала, ни конца, так же как и время, быть может, не имеет границ.

Такие всеобъемлющие идеи требуют самостоятельной отрасли науки. Название ее — космология. Эта в высшей степени умозрительная дисциплина имеет дело с началами и концами, размерами Вселенной, ее ритмом и структурой и с законами, описывающими движение целых галактик и мельчайших атомов межзвездного газа. По сравнению с другими науками космология рисует самые грандиозные картины самыми разбавленными красками. Поскольку фактов мало и они не слишком надежны, то космологию разрывают воюющие друг с другом школы, каждая из которых имеет красноречивых защитников. Это превращает космологию в волнующий передовой фронт науки.

Выражаясь более точно, современная космология пытается ответить на следующие вопросы:

Как велика Вселенная?

Каков ее возраст и какова ее история?

Как распределена материя в пространстве?

Приложимы ли земные физические законы к далеким галактикам?

Откуда поступает энергия, приводящая в действие Вселенную?

Повсюду ли во Вселенной различные химические элементы присутствуют в одной и той же пропорции?

Сквозь все эти вопросы проглядывают две сакраментальные проблемы, волнующие мыслящего человека: откуда мы появились и куда мы идем?

В нашем перечне нет вопросов, начинающихся словом *почему?* Космология подобно любой истинной науке была бы вполне довольна лишь точным и эстетически привлекательным описанием космоса. Слово *почему* выходит за пределы истинной науки, но не за пределы стремления человека к познанию. Роль науки была точно сформулирована Ньютоном: «Натурфилософия заключается в открытии каркаса природы и происходящих в ней движений и сведениях их, насколько это возможно, к общим правилам и законам, в установлении этих законов с помощью наблюдений и экспериментов и выведении из этого причин и следствий явлений...»

Методы космологии отличаются от методов, скажем, механики. Человек, работающий в области механики, идет в лабораторию и измеряет скорость падающего груза или период колебания маятника. Он ищет в этих данных закономерности и из них выводит физические теории. Далее, можно всегда вернуться в лабораторию и в случае надобности проверить теорию. В космологии лаборатория — вся Вселенная. Экспериментальное выявление причин и следствий ограничено сравнительно малым радиусом действия космических кораблей. Космологи большей частью вынуждены довольствоваться «посланиями», приносимыми слабыми радиосигналами и лучами света. Они могут только догадываться, насколько исказились эти фотонные послания за те миллиарды лет, в течение которых они до нас добирались.

Вызов космологии привлек внимание некоторых выдающихся ученых умов мира. Они «играют» в космологию по следующим правилам.

Имеющиеся данные систематизируются и оцениваются в зависимости от способностей получившего их человека и использованных им инструментов. В космологии большинство данных получается из радио- и оптических телескопических наблюдений, поскольку космология в основном наука *наблюдательная*. Подкрепляющие данные доставляют химический анализ метеоритов и радиоактивные методы определения возраста земных пород.

Затем с помощью интуиции и воображения космолог строит теоретическую модель Вселенной, учитывающую все основные факты. Космологи пытаются конструировать свои модели простыми, симметричными, однородными и отвечающими всем дру-

гм требованиям, связанным с их пониманием прекрасного. (Какая самонадеянность со стороны космологов! Вселенная не обязательно должна быть прекрасной.)

Наконец, модель должна проверяться новыми фактами по мере их появления. Так как моделей обычно столько же, сколько и космологов, то для того, чтобы сделать выбор, нужно провести эксперименты. Если ни одна модель не удовлетворяет фактам, необходимо создать новые модели.

Космология — это игра, не имеющая конца. По мере того как создаются новые инструменты для исследований космоса, новые факты разрушают лучшие теории и описанный выше цикл повторяется вновь.

Предположим, что вы лично поставили перед собой задачу описать природу Вселенной, т. е. построить космологию фактически на пустом месте. Невооруженным глазом вы смогли бы выделить несколько тысяч ярких звезд, шесть планет, блуждающих на фоне звезд, и, конечно, Солнце и Луну. Вы смогли бы даже увидеть одну из ближайших галактик — Большую туманность Андромеды, находящуюся от нас на расстоянии 2 500 000 световых лет*, — но она казалась бы лишь еще одной звездой. Невооруженным глазом вы не увидите всего богатства деталей, миллиардов вращающихся звезд и не оцените гигантских расстояний. Вы окажетесь в положении Птолемея и астрономов Древней Греции и Египта, которые с огромным терпением составляли каталоги блуждающих планет и регистрировали восходы и заходы Солнца и Луны. Имея лишь грубые оптические приспособления, они предсказали затмения и составляли календари для сельского хозяйства и религиозных целей. Короче говоря, астрономы древности создавали грубые математические модели видимой Вселенной. Иногда строились физические модели. Дальше к северу, в Англии, доисторические ее обитатели расположили в Стоунхендже валуны таким образом, что они образовали естественные часы, с помощью которых можно было предсказать астрономические явления, например день летнего солнцестояния. Отвечая на вопросы о природе вещей, древние часто считали звезды и планеты

* Световой год — расстояние, которое свет проходит за год. Употребляется как единица измерения расстояний до звезд и равен примерно $9\frac{1}{2}$ триллионам километров.

вестниками воли (или игрушками) богов и богинь. Эти модели были космологиями, ограниченными, но удовлетворительными и достаточно точными для тех целей, которым они служили.

Как далеко могли бы мы продвинуться к современной космологии без телескопа и спектрографа? Как это ни удивительно, весьма далеко. Приведем пример. Датский астроном XVI в. Тихо Браге, последний из великих наблюдателей неба невооруженным глазом, терпеливо накопил много томов весьма точных наблюдений положений планет. Эти наблюдения его помощник Иоганн Кеплер обобщил и вывел три закона движения планет. Исаак Ньютон (1642—1727) сделал еще один шаг в математической обработке данных Тихо Браге, сформулировав закон всемирного тяготения. С помощью одного сравнительно простого закона было точно описано сложное движение планет — весьма удовлетворительная ситуация для ученого, который полагает, что природа не только постижима человеком, но и по своей внутренней сущности проста. Великое обобщение опыта Ньютоном привело к одному из краеугольных камней современной космологии.

Ньютон применил свой новый закон к тысячам звезд, совершающим, как он видел, свой марш по небу с востока на запад. Он считал, что звезды должны быть равномерно распределены в пространстве. Любое другое распределение будет неустойчивым, поскольку в соответствии с законом тяготения местная концентрация звезд должна быстро собраться в единую массу. Крайние звезды таких скоплений будут притягиваться внутрь из-за того, что нет внешних соседей, которые могли бы оказать противодействие этому притяжению. Рассуждения такого рода приводят к заключению о бесконечности Вселенной в пространстве. Если бы она не была бесконечной и имела внешнюю границу, то она была бы просто огромным скоплением звезд, которые должны притянуться к центру. И вот мы пришли, наконец, к понятиям, широким и общим, как современная космология:

Вселенная бесконечна.

Материя во Вселенной распределена равномерно (теперь это называется *космологическим принципом*).

Закон тяготения может быть применен всюду во Вселенной, хотя в действительности он отражает лишь наш опыт внутри

Солнечной системы. До полетов космических кораблей к другим звездным системам нам ничего не остается, как экстраполировать законы, получившие «местное подтверждение».

Никто не знает, правильно ли на самом деле любое из этих утверждений. Однако, основываясь только на наблюдениях невооруженным глазом, человек может начать мыслить в космических масштабах. Более того, эти мысли могут оказаться интуитивно удовлетворительными. Кому нужны неуниверсальные законы? Кому нужны кучи звезд, засоряющие совершенные (т. е. однородные) во всех других отношениях небеса?

Космологический принцип можно расширить, включив в него помимо пространственного и временное измерение. Выразим это предположение языком обычной разговорной речи: Вселенная течет по спокойной гладкой реке времени, не имеющей ни истока, ни моря, куда бы она впадала, ни водоворотов или ниагар между ними. Сторонники Стационарной Вселенной — теории, более подробно рассматриваемой ниже, — объявляют это положение *совершенным космологическим принципом*. Его называли *совершенным*, потому что он включает четыре известных измерения, потому что он полнее и поэтому удовлетворяет нас и потому что его можно сформулировать, не прибегая к исследованиям при помощи сложных астрономических инструментов.

Если обратиться от рассуждений к фактам, то наблюдательный фундамент был заложен в 1826 г. немецким астрономом Генрихом Ольберсом, задумавшимся над тем, почему ночное небо такое темное. Вопрос этот более глубокий, чем кажется на первый взгляд. Конечно, каждый естествоиспытатель, начиная от размышляющего пещерного жителя, видел, что ночное небо темное. Оно *действительно* темное, и с этим ничего не поделаешь. Ольберс копнул глубже. Он рассуждал так: если существует бесконечное количество звезд и они распределены равномерно, то ночное небо должно казаться полностью покрытым сверкающими точками, т. е. все небо должно быть таким же ярким, как Солнце. На самом же деле небо темное, и это расхождение требует объяснения. Это так называемый парадокс Ольберса, и любая космология должна его объяснить.

Инстинктивное объяснение парадокса Ольберса состоит в том, что в бесконечной Вселенной большинство звезд находится так далеко, что не может ярко освещать наше небо. Правда,

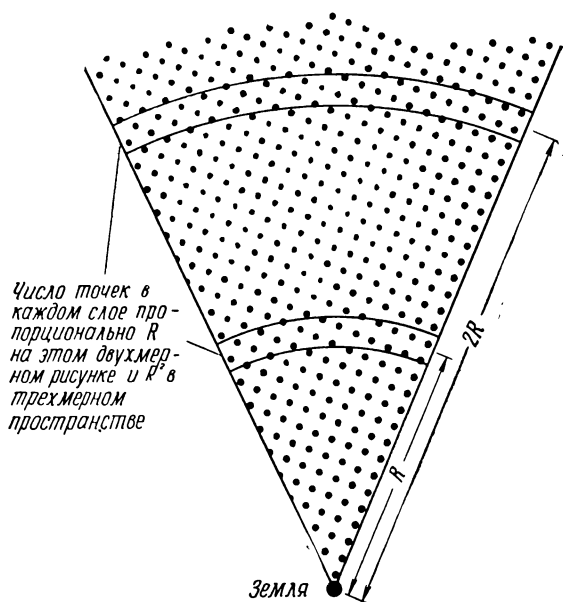


Рис. 1. Парадокс Ольберса гласит, что в бесконечной Вселенной ночное небо должно быть полностью покрыто яркими звездами. Рисунок показывает, как уменьшение яркости с расстоянием компенсируется увеличением числа источников света. Яркость *убывает* пропорционально квадрату расстояния, а число источников *возрастает* пропорционально квадрату расстояния. Таким образом, полное количество света, получаемое от звезд в пределах данного угла, остается одним и тем же, если принять, что звезды во Вселенной распределены равномерно.

интенсивность их света падает пропорционально квадрату расстояния, но каждый раз, как в наше поле зрения попадают вдвое более далекие звезды, общее число видимых звезд возрастает в четыре раза. Ослабление света с расстоянием точно компенсируется увеличением числа звезд. Конечно, можно привести и такой аргумент, что большая часть излучения далеких звезд, должно быть, поглощается пылью и газом в гигантских межзвездных просторах. Это предположение также не объясняет парадокса, даже если оно и истинно, так как пыль, поглощая излучение, вскоре нагреется до таких температур,

что начнет светиться подобно самим звездам. И мы снова остаемся с парадоксом, родившимся в результате противоречия между простейшим наблюдением и предположением, что Вселенная бесконечна во времени и пространстве.

Добавление к невооруженному глазу телескопа во много миллионов раз расширяет познаваемую Вселенную. Выборочные подсчеты звезд говорят нам, что наша собственная галактика включает миллиарды звезд и что миллиарды звезд насчитывает каждая из миллиардов галактик, разбросанных во всех направлениях до пределов видимости. (Было подсчитано, что общее число звезд в видимой части Вселенной составляет 10^{21} .) А теперь подумайте. Сообщает ли нам телескоп что-нибудь помимо простого числа звезд, помимо очевидного теперь факта, что Вселенная имеет гигантские размеры? Ответ будет положительным. Тщательные телескопические наблюдения позволяют вскрыть следующие два факта, важные для космологии.

Вещество кажется довольно равномерно распределенным в пространстве в соответствии с первоначальной гипотезой Ньютона. Звезды объединены в галактики, а сами галактики — в скопления. (Наша Галактика, Млечный Путь, входит в группу из семнадцати галактик.) Несмотря на эту иерархию, космологический принцип подкрепляется тем фактом, что все скопления и «кучи» кажутся распределенными равномерно.

Шкала расстояний, основанная на сравнительной интенсивности звезд и галактик, не показывает никаких границ видимой Вселенной.

Здесь полезно небольшое отступление для рассказа об измерении огромных расстояний. Шкалы расстояний и времени (см. гл. 3) настолько важны для космологии, что игнорировать их нельзя. Измерение расстояний методом триангуляции, даже если в качестве базиса использовать диаметр земной орбиты (т. е. метод параллакса), пригодно лишь для объектов, находящихся не дальше 1000 световых лет. За пределами этого расстояния инструменты не могут измерить небольшие смещения звезд (их параллаксы), возникающие в результате обращения Земли вокруг Солнца. Метод параллаксов не выводит нас даже за пределы собственной Галактики.

Рассмотрим другую гипотезу. Пусть мы видим уличный фонарь, находящийся от нас на расстоянии одного квартала; тогда,

как мы знаем, такой же фонарь на расстоянии двух кварталов будет казаться нам вчетверо более слабым. План теперь ясен: находим звезды одинакового блеска, измеряем расстояние до ближайшей из них методом триангуляции и вычисляем расстояния до остальных, сравнивая их блеск с блеском звезды, расстояние до которой найдено. Это тот же метод, только вывернутый наизнанку. Для более близких галактик, где телескопы различают отдельные звезды, знаменитые переменные звезды цефеиды, впервые открытые в созвездии Цефея, служат межгалактическими масштабными линейками. Блеск цефеиды представляет собой известную функцию времени, требуемого для того, чтобы пульсирующая звезда прошла цикл: яркая, тусклая, яркая. Астрономы выбирают цефеиду в другой галактике, измеряют периодические изменения ее видимого блеска и, зная истинный блеск по ее периоду, находят расстояние до цефеиды по уменьшению блеска. Если цефеид нет, то при измерении расстояния до самой яркой звезды (голубого гиганта) в галактике предполагают, что ее блеск совпадает с блеском самого яркого голубого гиганта нашей Галактики.

Для далеких галактик, в которых неразличимы отдельные звезды, принимают, что светимость самой яркой галактики в скоплении галактик равна светимости самой яркой галактики в более близкой к нам группе с известным расстоянием. Это все напоминает карточный домик, основанием которого являются измерения параллаксов. Шкала расстояний до цефеид опирается на пирамиду измеренных параллаксов и т. д. Возникают сомнения в законности этого «сооружения». Возможно, межзвездная пыль поглощает часть света звезд-эталонов, поэтому самый яркий голубой гигант в галактике X может быть в сто раз ярче своего аналога в галактике Y. Не исключено, что астрономы видят эту шаткую конструкцию в дурных снах, но им просто больше не к чему прибегнуть в наблюдательной науке.

Заставим теперь эту масштабную линейку работать в космологии. История эта началась в 1912 г., когда американский астроном В. М. Слайфер приступил к изучению далеких галактик с помощью спектроскопа. Он ожидал, что спектрограф разложит свет этих галактик в линейчатый спектр, подобный тому, который обнаружен у элементов, найденных в звездах нашей Галактики. Однако, когда спектрограммы были изучены, линии оказались не совсем там, где их ожидали найти на фо-

тографических пластинках. Линии *H* и *K* ионизованного кальция, достаточно интенсивные и легко отождествляемые, были смещены к красному концу спектра, т. е. к более длинным волнам. Сотни галактик обладают таким смещением спектральных линий к красному концу спектра, а в то же время у всех 17 членов нашей местной системы галактик оно отсутствует. Таким образом, спектроскоп установил новую особенность Вселенной, которую должна учитывать каждая космологическая модель.

Почему возникает красное смещение в спектрах галактик? Первое и наиболее естественное объяснение опирается на эффект Доплера: движения галактик прочь от Земли приводят к «растягиванию» световых волн, т. е. к уменьшению их частот. Большинство галактик, спектры которых исследованы, по этому признаку движутся прочь от нас, потому что их спектры «растянуты», т. е. смещены к красному концу. Возможны и другие интерпретации красного смещения. Например, смещение может возникать на пути света, при его взаимодействии с пылью, подобно тому как происходит покраснение света заходящего Солнца. В настоящее время большинство астрономов и космологов считают красное смещение результатом действия эффекта Доплера.

Красное смещение и шкала межгалактических расстояний были связаны американскими астрономами Эдвином Хабблом и его сотрудником Милтоном Хьюмасоном, который, кстати, начал свою карьеру сторожем обсерватории Маунт Вилсон. В 1929 г. они показали, что скорости удаляющихся галактик примерно удваиваются с удвоением расстояния. Другими словами, отношение скорости удаления к расстоянию V/D оказалось грубо постоянной величиной. По современным измерениям *постоянная Хаббла* примерно равна

$$\frac{V}{D} = \frac{1 \text{ км/сек}}{3 \cdot 10^{17} \text{ км}} = \frac{1}{3 \cdot 10^{17} \text{ сек}}.$$

Тот факт, что отношение V/D является величиной постоянной, оказался совершенно неожиданным, хотя в конце концов он был полностью подтвержден наблюдениями. Почти все галактики, по-видимому, разлетаются от нас, причем некоторые со скоростью, достигающей половины скорости света, и, как мы увидим, именно это обстоятельство приводит к рождению

сложных космологий. В конце концов нас не может удовлетворить заявление, что Вселенная велика и однородна. Нам бы хотелось знать, какова она была в прошлом, почему она приобрела нынешнюю структуру и как она эволюционирует. Наблюдение общего движения внутри Вселенной предполагает ее динамическую историю, возможно даже начало и конец.

Однако сначала рассмотрим величину, обратную постоянной Хаббла. Она имеет размерность времени, равна примерно 10 миллиардам лет и, по-видимому, одна и та же для большинства измеренных галактик. А не возраст ли это видимой Вселенной? Эту величину можно рассматривать как время, потребовавшееся каждой галактике, чтобы достичь измеренного нами расстояния от Земли, если галактика двигалась с нынешней скоростью. Но возможно, эти рассуждения наивны. В течение тех нескольких десятилетий, что мы наблюдаем галактики, нам удалось лишь сделать моментальный снимок Вселенной за почти бесконечно малый отрезок времени ее существования. Еще более запутывает положение то обстоятельство, что на этот моментальный снимок попадает свет настолько отдаленных звезд, что мы видим их такими, какими они были миллиарды лет назад. Конечная величина скорости распространения света создает эффект своеобразной машины времени. Весьма возможно, что далекие галактики уже взорвались или мирно «скончались» от старости. Мы знаем так мало, что нужно быть очень осторожными.

Хаббл и в самом деле принял, что величина, обратная его постоянной, является возрастом Вселенной. В то время (1929 г.) измерения постоянной Хаббла давали возраст Вселенной меньше 2 миллиардов лет, т. е. величину, которая в два с лишним раза меньше возраста Земли, найденного геологами методом радиоактивных элементов. Произошло столкновение результатов, полученных разными путями, что заставило астрономов и геологов пересмотреть свои позиции. Этот плодотворный конфликт был разрешен в 1942 г., когда американский астроном немецкого происхождения Вальтер Бааде, пользуясь затемнением Лос-Анджелеса во время войны, начал тщательное исследование галактики в Андромеде на 100-дюймовом телескопе обсерватории Маунт Вилсон. Бааде установил, что цефеиды, использованные Хабблом для определения расстояний, фактически представляют собой две различные группы объектов с раз-

личнымп зависимостями период — светимость. Хаббл же в своих исследованиях не разделял эти две группы цефеид. Поправка Бааде сделала Вселенную гораздо больше и повысила ее возраст до 5 миллиардов лет, требуемых геологами того времени. Подобно всем предшествующим оценкам размеров и возраста Вселенной, поправки Бааде дали величины, гораздо меньшие полученных в наши дни на основе метода радиоактивных элементов и по другим «естественным» часам; по современным данным этот возраст составляет 10—15 миллиардов лет (см. гл. 3) *.

Картина Вселенной, нарисованная Хабблом, получила популярное название «расширяющейся Вселенной». Общепринято сравнивать галактики с точками на поверхности надуваемого шара. По мере натяжения резины все точки удаляются друг от друга. Физическую картину можно сделать более реалистичной, если вообразить целую серию открытых точками шаров, находящихся друг в друге, которые одновременно надуваются таким образом, что расстояния между ними увеличиваются. Если поселиться в одной из этих точек, неважно в какой, то обитателю будет казаться, что все остальные точки от него удаляются. Дает ли эта физическая картина правильную интерпретацию полученных данных? Существует ли самый внешний шар?

Представьте себе фильм о «расширяющейся Вселенной», в котором каждая минута демонстрации равна миллиарду лет. Продолжая демонстрацию фильма в будущее, увидим ли мы, что галактики разбегаются все дальше и дальше и в конце концов исчезают из нашего поля зрения, достигнув скорости света? Американский космолог русского происхождения Джордж Га-

* Метод радиоактивных элементов, примененный к самым различным образцам, взятым из земной коры и метеоритов, нигде не дал возраст, больший 4,5 млрд. лет. Примерно такое же значение было получено для возраста поверхности Луны на основе анализа образцов лунных пород, доставленных на Землю при полетах «Аполлонов». По-видимому, эта величина дает возраст солнечной системы.

Однако само Солнце (а следовательно, и его система) не принадлежит к самым старым звездам нашей Галактики. Возраст наиболее старых звезд, находящихся в так называемых шаровых скоплениях, действительно может, по-видимому, достигать 10—15 млрд. лет. Трудно, однако, точно указать возраст самой старой звезды Галактики. — *Прим. ред.*

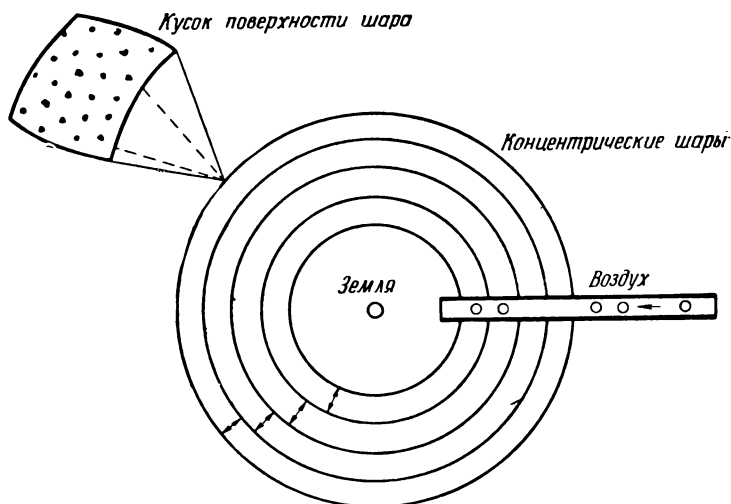


Рис. 2. Расширяющаяся Вселенная, представленная надувающимися концентрическими шарами. По мере того как шары надуваются и резина растягивается, точки на поверхности, изображающие галактики, удаляются друг от друга. В аналогии для трехмерного пространства расстояние между соседними шарами должны также увеличиваться со временем.

мов и другие сторонники теории Большого Взрыва, или «эволюционной космологии» Жоржа Леметра, говорят — *да!* Приверженцы теории Стационарной Вселенной во главе с астрономом Фредом Хойлом отвечают — *нет!* Итак, вступаем в битву. В настоящее время более модной является теория Большого Взрыва, поэтому рассмотрим ее первой.

Теория Большого Взрыва представляет собой модель космоса, аналитическую модель, которая позволяет нам путешествовать в прошлое и будущее с помощью математики. Если бы мы могли соорудить ее практически, как модель самолета или очень сложный планетарий, она показала бы нам эволюцию Вселенной с момента ее возникновения (гигантский катаклизм в этой модели) до современного состояния, и так далеко в будущее, как мы пожелаем. Теория Большого Взрыва (и любая другая модель) должна отвечать следующим условиям:

Разрешить парадокс Ольберса.

Учитывать постоянную Хаббла, т. е. красное смещение.

Соответствовать космологическому принципу.

Не противоречить независимо измеренному возрасту Земли.

Не нарушать ни одного основного физического закона, установленного на основании земных экспериментов.

Удовлетворять требованиям эстетики.

Установив необходимое оборудование, включим кинопроектор на обратный ход и будем свидетелями того, как все галактики слетаются к Земле, вместо того, чтобы от нее разбегаться. В теории Большого Взрыва они сливаются в гигантский шар первичной материи и (или) энергии, названный Гамовым *илем*. (Он заимствовал этот термин у Аристотеля, который обозначал им основную субстанцию Вселенной.) Таково начало фильма, представляющего начало времени в этой космологии. Любая киноплёнка, отснятая до этого момента, должна, по-видимому, показать за работой бога, или какой-то первичный принцип, или (и мы не можем исключить вероятность этого) сжатие некой предшествующей Вселенной в илем. Напршивается мысль о подобной цикличной, непрерывно повторяющейся Вселенной, однако не существует никакой *известной* силы, которая была бы способна стянуть обратно разбегающиеся галактики, наблюдаемые в наше время, в илем. Все галактики превысили скорость убегания и не могут быть вновь захвачены тяготением, хотя не исключено, что какая-то неизвестная еще сила может вызвать сжатие. Либо мы наблюдаем последнее дыхание цикличной Вселенной (ее выдох), либо постулированный илем самопроизвольно возник из ничего.

Теория Большого Взрыва Вселенной широко популяризовалась, так что сейчас многие свыклись с мыслью о том, что разбегающиеся галактики когда-то могли быть спрессованы в своеобразное «космическое яйцо». В тихие времена, предшествовавшие атомной бомбе, *представление о том, что галактики являются осколками колоссального взрыва*, не привлекало многих ученых *. Когда бельгийский священник Жорж Леметр выдвинул в конце двадцатых годов нашего века эту идею, на нее

* У этого представления есть не упоминаемая автором интересная предыстория. А. Эйнштейн, создавший общую теорию относительности, описывающую самые общие и глубокие свойства всемирного тяготения, попытался построить модель Стационарной Вселенной, т. е. записать и решить уравнения, описывающие однородное распределение

не обратили внимания. Она завоевала широкое признание лишь после того, как ее сторонником и пропагандистом стал Артур Эддингтон. Позднее в своей книге «Расширяющаяся Вселенная», опубликованной в 1933 г., Эддингтон популяризовал теорию Большого Взрыва. Эта теория легко доступна для понимания, возможно потому, что нам хорошо знакомы результаты взрывов на Земле. Такие популяризаторы науки, как Эддингтон и Гамов («Создание Вселенной»), писали настолько убедительно, что главный соперник Большого Взрыва — теория Стационарной Вселенной — с трудом пробивала себе дорогу на страницы печати.

Признавая, что теория Большого Взрыва доступна пониманию, зададим все же вопрос: объясняет ли она при этом данные наблюдений? Конечно, она объясняет красное смещение, так как была придумана именно для этой цели. Теория Большого Взрыва не противоречит космологическому принципу, потому что все обломки взрыва равномерно распределены в пространстве и разбегаются по некоторому закону. Теоретически расширение и сжатие Вселенной являются единственными крупномасштабными движениями, разрешаемыми космологиче-

вещества в неизменяющемся пространстве. Это ему не удалось, и Эйнштейн решил, что применять уравнения общей теории относительности ко Вселенной можно будет только после их видоизменения (он предложил ввести в эти уравнения так называемый космологический член). Однако вскоре выдающийся советский математик, физик и метеоролог А. А. Фридман показал, что уравнения Эйнштейна без всяких космологических членов можно применить ко Вселенной; их можно решить, но только это решение оказалось нестационарным. Иными словами, он показал, что если уравнения общей теории относительности правильно описывают физическую реальность, то Вселенная должна меняться со временем — она должна либо расширяться, либо сжиматься, либо пульсировать. Позднее, уже в тридцатых годах, английские астрофизики А. Милн и М. Мак-Кри показали, что общая теория относительности здесь ни при чем; уже из самых обычных законов Ньютона следует необходимость для Вселенной расширяться или сжиматься.

Таким образом, идея о расширении Вселенной была выдвинута и обоснована А. А. Фридманом. Поэтому математические модели расширяющейся Вселенной часто называют моделями Фридмана и даже «миром Фридмана». Правда, А. А. Фридман предпочитал не обсуждать подобное начальное состояние, справедливо полагая, что для этого нет данных. Представление о начальном состоянии как Большом Взрыве какого-то состояния материи действительно было предложено Ж. Леметром. — *Прим. ред.*

ским принципом, поскольку, например, общее вращение запрещается из-за того, что вращение требует наличия определенной оси, а ось требует симметрии, которая исключает однородность. Не нарушаются также основные законы, выведенные с помощью земных экспериментов, потому что, как мы увидим, теория Большого Взрыва прочно опирается на результаты этих экспериментов, в частности на данные ядерной физики.

Парадокс Ольберса разрешается в рамках расширяющейся Вселенной. В такой Вселенной скорость света достигается на расстоянии в 10 миллиардов световых лет. Галактики, если они существуют за пределами этой воображаемой сферической поверхности, остаются для нас невидимыми, поскольку свет, который они излучают, никогда до нас не дойдет. Фотоны, испускаемые в нашем направлении звездами, движущимися быстрее света (допустим на мгновение, что это возможно), будут иметь чистую относительную скорость, направленную от Земли, так же как камень, брошенный с конца поезда, движущегося с большой скоростью, будет казаться наблюдателю у рельсов летящим вперед. Читатели, знакомые со специальной теорией относительности Эйнштейна, станут отрицать возможность удаления от нас физического объекта со скоростью, превышающей скорость света. Специальная теория относительности безусловно предполагает это ограничение, но общая теория относительности, которую мы можем применить в космологии, не обязательно запрещает такие скорости*. Темное ночное небо, так беспокоившее Ольберса, создается конечной *видимой* Вселенной. Более того, ночное небо станет еще темнее, по мере того как все больше и больше галактик пересечет сферу радиусом в 10 миллиардов лет и станет невидимым. Ночное небо темнеет также из-за эффекта Доплера, смещающего свет далеких

* Здесь неточное объяснение, которое может ввести читателя в заблуждение. Разумеется, общая теория относительности также запрещает движения материальных тел со скоростями, большими скорости света. Но здесь дело в другом. Скорость разлетаания галактик ни в коем случае нельзя считать скоростью их движения в пространстве. Каждая галактика почти неподвижна относительно окружающего ее пространства. Ее скорость в «своем пространстве», называемая *pecулярной скоростью*, как правило, не превышает тысячи километров в секунду. Разлетание Вселенной есть расширение всего пространства, и большая скорость далеких галактик есть просто как бы эффект накопления малых скоростей расширения в каждой точке пространства. — *Прим. ред.*

галактик в инфракрасную область, в которой наши глаза нечувствительны.

Уже упоминалось требование о согласии космологического и геологического возрастов. Такое согласие было достигнуто лишь после того, как Вальтер Бааде пересмотрел шкалу космологических расстояний, открыв два типа цефеид.

Теперь о самом субъективном требовании — эстетической привлекательности. Удовлетворительна ли теория Большого Взрыва с эстетической точки зрения? Начало, безусловно, кажется довольно неприглядным, потому что нарушена непрерывность пространства и времени. Сначала ничего не было, а затем что-то появилось. Наступит и конец, потому что нет никакой известной силы, которая способна была бы стянуть обратно все галактики. Некоторые, однако, предпочитают начало и конец трудно воспринимаемой бесконечности времени и пространства в теории Стационарной Вселенной. На самом деле это дело вкуса.

Опорой теории Большого Взрыва является признание факта рождения Вселенной — этакого 30-минутного ада, который, возможно, вспыхнул 10 миллиардов лет назад. Само слово «ад» дает лишь весьма бледное представление о том явлении, которое Гамов и другие энтузиасты теории Большого Взрыва видят у истоков нашего мира.

Согласно гипотезе илема, Вселенная родилась в одно мгновение в виде колоссального скопления элементарных частиц, большей частью протонов, электронов и нейтронов *. Первона-

* Нам бы хотелось предостеречь читателя от слишком буквального понимания слова «родилась», так же как и обращения автора к богу, впрочем обычно иронического. Ни в коем случае нельзя считать, что было пустое пространство, в котором внезапно появилась материя. Такое представление столь же ошибочно, как и убеждение (к сожалению, разделяемое многими недостаточно квалифицированными популяризаторами науки), что расширение Вселенной есть разлетание шаров из галактик, движущихся в пустом пространстве с разными скоростями. Еще раз подчеркиваем, что разлетание галактик есть расширение пространства с почти неподвижными (по космическим масштабам) галактиками. В состоянии илема само пространство и, по-видимому, также и время были другими. Здесь можно выдвигать много разных гипотез. Например, можно предположить, что до этого материя была в какой-то иной, совершенно не известной нам форме; можно считать, что сами понятия о пространстве и времени как о физических реальностях требуют ограниченности, т. е. может быть бесконечное время

чальная температура илема составляла миллиарды градусов, т. е. была значительно выше, чем в недрах Солнца. Элементарные частицы двигались со скоростями, близкими к скорости света. Эта горячая кипящая масса, из которой впоследствии должны были родиться все звезды и галактики, по-видимому, была очень похожа на центральную область только что взорвавшейся водородной бомбы, но несравненно больше, плотнее и жарче. Следующая глава истории илема, как и судьба многих ее авторов, связана с историей развития ядерного оружия.

Ядерный огненный шар, или племя, должен быстро расширяться и по мере расширения охлаждаться. Чем сильнее охлаждается племя, тем более вероятно, что нейтроны, протоны и электроны объединятся и образуют ядра химических элементов, которые сейчас находят во всей Вселенной. Если известные законы ядерной физики покажут, что охлаждающийся племя образует стабильные химические элементы в тех же соотношениях, в каких мы находим их сегодня, то теория Большого Взрыва получит сильную поддержку.

Исследуя более тщательно процесс охлаждения, Гамов пришел к выводу, что ядерный синтез элементарных частиц в племя, по-видимому, создал современные химические элементы примерно за полчаса. О том, что Вселенная была «сварена» мгновенно, а не «варилась» миллиарды лет, свидетельствуют два факта.

Свободные нейтроны, необходимые для образования стабильных ядер, имеют период полураспада только около 12 минут. Через 36 минут (три периода полураспада) оставалась бы лишь $1/8$ первоначального нейтронного населения, и дальнейшее построение элементов стало бы затруднительным.

Через полчаса илем расширился бы и охладился до температур, значительно более низких, чем необходимо для термоядерного синтеза.

Тридцатиминутная «варка» должна была привести к синтезу протонов и нейтронов и образованию тяжелого водорода —

столь же бессмысленно, как и бесконечная скорость материального тела. Несомненно, проблема «начального состояния для расширяющейся Вселенной» будет в будущем разрешена — но только тогда, когда для этого будет достаточно наблюдательных данных. Пока их нет. — *Прим. ред.*

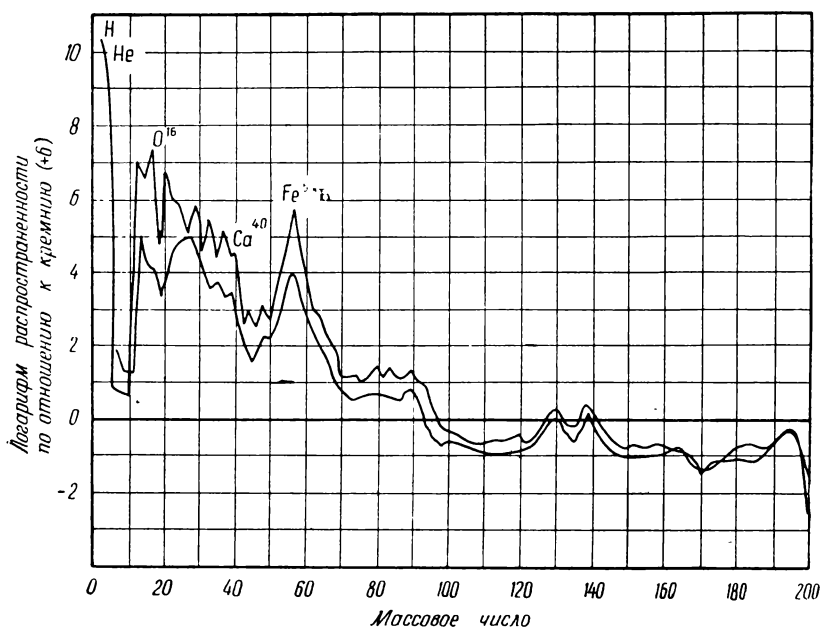


Рис. 3. Хорошая космологическая теория должна быть в состоянии предсказать количество атомов каждого элемента, сохранившихся в наши дни во Вселенной. После тщательного исследования видимой Вселенной космологи составили эту диаграмму, показывающую количество ядер, имеющих одинаковые массовые числа (т. е. полное число нейтронов и протонов). Верхняя кривая относится к четным массовым числам, а нижняя — к нечетным. Теория Большого Взрыва предсказывает общую форму кривых, хотя испытывает трудности при объяснении минимума, начинающегося у массового числа 5.

дейтерия ($\text{H}^1 + \text{H}^1 \rightarrow \text{D}^2$). Аналогичные реакции синтеза могли породить тритий (H^3) и изотопы гелия (He^3 и He^4). На исходе 30 минут Вселенная должна была в основном состоять из водорода и гелия, что примерно и наблюдается сегодня. Тяжелые элементы, составляющие менее 1% массы Вселенной, возникли, вероятно, в результате последовательного синтеза тяжелого водорода и изотопов гелия; здесь необходимо построить разумный теоретический мост через трещину в теории, образовавшуюся в связи с тем, что ядра с массовым числом

пять, по-видимому, в природе не существуют из-за своей неустойчивости. Другими словами, если мы настаиваем на том, чтобы прибавлять по одному, мы не можем дойти до шести, потому что пять не существует. Синтезируя ядра с массами четыре, три и два в комбинациях свыше пяти, теория Большого Взрыва может перекинуть мост через трещину и объяснить наблюдаемое обилие различных элементов. Гамов называет современное распределение элементов «самым старым археологическим» свидетельством из существующих. Конечно, синтез тяжелых элементов происходит до некоторой степени и сейчас в горячих недрах звезд.

Энергия для Большого Взрыва, самой крупной ядерной бомбы, которая когда-либо была создана, доставлялась экзотермическим синтезом ядер водорода. Выброшенная взрывом первичная материя конденсировалась в различных местах, образовав звезды и галактики, которые до сих пор разбегаются от места взрыва с огромной скоростью *. Таким образом, наблюдаемые нами галактики должны иметь примерно одинаковый возраст. Однако здесь своеобразно вмешивается фактор времени, поскольку мы видим свет, излученный далекими галактиками миллиарды лет назад, так что некоторые из них, вероятно, давно прекратили свое существование.

Если считать верной нашу шкалу астрономических расстояний, мы должны видеть галактики в разных стадиях эволюции: чем дальше они находятся, тем моложе они должны казаться нам из-за конечной величины скорости света. Далее, галактики не обязательно должны «стареть» с одинаковой скоростью. Некоторые из них могут омолаживаться по мере образования новых звезд из пыли (см. гл. 5). Если бы все старые и умирающие звезды заменялись молодыми, то казалось бы, что галактика совсем не стареет. Астрономы различают два основных типа галактик: спиральные, которые кажутся омолаживающимися, и эллиптические, не отличающиеся этой особенностью.

* Здесь, к сожалению, автор допустил ту же распространенную ошибку. Никакого «места взрыва», из которого выбрасывалась первичная материя, не было. Во всем «тогдашнем» пространстве, *равномерно* заполненном первичной материей, повсюду выделялась энергия. И лишь несколько позже, когда это первичное вещество остыло, из-за расширения пространства равномерно распределенная материя стала распадаться на отдельные, почти неподвижные сгущения, из которых образовались галактики, а затем и звезды. — *Прим. ред.*

Последние, таким образом, оказываются самыми лучшими космологическими часами, поскольку процесс старения у них не искажается омоложением. Исследование далеких эллиптических галактик показывает, что они значительно краснее, чем если бы учитывалось влияние только эффекта Доплера. Напрашивается вывод: *избыток* красного цвета вызван тем, что в действительности мы видим галактики такими, какими они были миллиарды лет назад, — моложе, холоднее и поэтому краснее. В то же время спиральные омолаживающиеся галактики не обладают избытком красного цвета. Обнаружение этого избытка служит серьезным подкреплением теории Большого Взрыва, которая предполагает, что все галактики возникли одновременно. Если бы новые галактики образовывались все время, как предполагается в теории Стационарной Вселенной, то далекие эллиптические галактики (наши часы) находились бы на разных стадиях эволюции и о разном их возрасте свидетельствовала бы разная величина избытка красного цвета*.

Достаточно о теории Большого Взрыва. Она поддерживается многочисленными данными наблюдений и отвечает шести первоначально поставленным условиям**. Главный ее недостаток состоит в определенном отсутствии привлекательности: неистовое катаклизмическое начало и медленная, затяжная гибель в результате распыления всех галактик. Но красота теории — вещь

* Согласно другому объяснению, избыток красного цвета вызывается межгалактической пылью — предположение, которое требует, чтобы 99% массы Вселенной находилось в состоянии пыли.

** Теперь можно сказать и о главном подтверждении теории Большого Взрыва. В 1965 г. было сделано одно из важнейших открытий в астрономии — был обнаружен *реликтовый фон радиои兹лучения*. Это кванты электромагнитных волн, испущенные элементарными частицами почти сразу после Большого Взрыва. Тогда их энергия соответствовала температуре около 10 млрд. градусов. Но за 10 млрд. лет движения в расширяющемся пространстве они испытали такое сильное красное смещение, что теперь их энергия (пропорциональная частоте) соответствует температуре в 2,7 градуса по шкале Кельвина. Правда, еще не все достаточно ясно с интерпретацией этого реликтового фона, но почти наверняка он действительно свидетельствует о Большом Взрыве.

Знакомясь далее с теорией Стационарной Вселенной, читатель должен иметь в виду, что даже наиболее горячий ее защитник, Ф. Хойл, отказался от нее. Тем не менее познакомиться с этой теорией стоит — она весьма поучительна. — *Прим. ред.*

субъективная: некоторые, может быть, и предпочтут услышать выстрел стартового пистолета, зная, что гонки когда-нибудь кончатся.

Космология включает, помимо борьбы теорий, и борьбу отдельных лиц. При этом споры не заглушаются увитыми плющом стенами и обложками научных журналов. Обе основные космологические теории имеют своих защитников, отличающихся красноречием и склонностью выносить свои взгляды на суд широкой публики. С одной стороны Джордж Гамов, защищающий теорию Большого Взрыва, с другой стороны английский астроном Фред Хойл, оказывающий предпочтение идее непрерывного творения материи и теории Стационарной Вселенной. Ни одна из этих теорий не получила решительного подтверждения наблюдениями, и поэтому остается широкое поле для убеждения и научной полемики. Обе теории отвечают шести основным требованиям, сформулированным выше.

У теории Большого Взрыва почти не было соперников с момента, когда ее предложил Леметр, и до 1948 г., когда группа ученых Кембриджского университета заложила фундамент теории Стационарной Вселенной. Главными архитекторами были Герман Бонди и Томас Голд, два родившихся в Австрии космолога, а также Фред Хойл — в настоящее время самый энергичный сторонник этой теории. Противодействие теории Стационарной Вселенной и мысли о непрерывности творения материи с самого начала было сильным. Сторонник модели Стационарной Вселенной Д. Сиамма так говорит об этом в «Международной науке и технике»: «Думаю, справедливо будет сказать, что большинство ученых отвергают ее, но что некоторые видные специалисты считают стационарное состояние Вселенной настолько философски привлекательным, что предпочитают сохранять ум открытым до тех пор, пока не будут проведены решающие наблюдения». Это великолепная краткая формулировка существуемой ситуации, а также указание на философскую соблазнительность теории Стационарной Вселенной.

Обе главные особенности теории Стационарной Вселенной непосредственно вытекают из *совершенного космологического принципа*, сформулированного Бонди, Голдом и Хойлом: свойства Вселенной постоянны *как* в пространстве, *так* и во времени. Отсюда следует:

Плотность Вселенной постоянна во времени, несмотря на разбегание галактик, вытекающее из красного смещения.

Теория Стационарной Вселенной постулирует самопроизвольное рождение материи для восполнения ее убыли из-за разбегания.

Если рассматривать объем в 1 м^3 , то расширение Вселенной, усредненное по всему пространству, приведет к тому, что за миллиард лет из этого объема будет удаляться всего два атома водорода. Эти два атома замещаются самопроизвольным творением чего-то из ничего. Проще говоря, это означает увеличение массы Земли на 4 г за 5 миллиардов лет.

Если плотность Вселенной все время постоянна, то отрицается ее рождение и гибель. Нет сверхъестественного начала и бесконечного распыления материи в конце.

Если опять прибегнуть к аналогии с кинофильмом, то теперь эта картина будет бесконечно длинной. В какое бы время мы ни включили кинопроектор, мы увидим одну и ту же усредненную картину Вселенной. Детали могут меняться, но основные особенности сохраняются вечно. По мере того как галактики разбегаются от камеры, их заменяют новые галактики, возникающие из непрерывно пополняемого жидкого «супа» водородных атомов. Сосуд никогда не иссякает.

Кто может отрицать непрерывность, симметрию и даже красоту Стационарной Вселенной? Все же некоторые отрицают. Мы живем в мире конечных величин: расстояний, которые мы проезжаем до работы, и числа дней, оставшихся до праздника. Многим кажется, что прыжок от конечных земных величин к многомерной бесконечности доступен лишь одному богу.

Философская привлекательность теории Стационарной Вселенной состоит не только в том, что устраняется постулированный централизованный «горшок» для «варки» элементов, но и в том, что при этом отказываются также от услуг повара. Вместо того чтобы, говоря языком причинной логики, считать Вселенную, видимую сейчас в телескоп, результатом лишь единственного предполагаемого события далекого прошлого, теория Стационарной Вселенной прокладывает путь для следующего фундаментального обобщения: Вселенная существует и ведет

себя только таким образом, чтобы навеки сохранить это существование, иначе ее давным давно не было бы. Значит, природа всех физических законов должна быть такой, чтобы предотвратить разбегание галактик и конечное рассеяние и исчезновение Вселенной, т. е. они должны гарантировать вечную стабильность Стационарной Вселенной. Более того, законы природы должны быть очевидны из современных процессов, а не из экскурсов в археологию, поскольку время не играет никакой роли во Вселенной, где не происходит никаких исторических событий. Наука и ученые любят простые всеобъемлющие принципы, и здесь они их находят. Некоторые биологи полагают, что жизнь существует только для того, чтобы себя увековечивать; возможно, Вселенная является воплощением подобного первичного принципа.

Окончательное признание теории Стационарной Вселенной зависит в первую очередь от данных наблюдений. Теория Стационарной Вселенной удовлетворяет эстетическим требованиям, а также объясняет парадокс Ольберса и красное смещение подобно тому, как это делает теория Большого Взрыва. Не отрицается расширение Вселенной. Весьма возможно, что именно творение новой материи приводит к расширению Вселенной, а не наоборот. Теория подчиняется космологическому принципу и даже более широкому требованию, так как включает время. Стационарная Вселенная не может не согласовываться с измеренным возрастом Земли, так как в ней перемешаны старые и молодые звезды. В телескоп мы должны видеть и умирающие и рождающиеся галактики; по-видимому, на самом деле так и происходит. Общий возраст Стационарной Вселенной—понятие бессмысленное.

Нуждается в подтверждении лишь то соображение, что земная физика приложима также и к космосу. Нарушает ли творение новой материи земные законы? Один ответ состоит в том, что закон сохранения материи и энергии применим только к конечным объемам, и поскольку каждый атом водорода, сотворенный в 1 м^3 , уравнивается таким же атомом, покидающим этот объем, закон сохранения не нарушается. Закон сохранения материи, опирающийся только на земной опыт, может быть проверен лишь в ограниченном пространстве. Скорость творения массы, требуемая Бонди, Голдом и Хойлом, значительно ниже чувствительности наших инструментов и

потому не противоречит фактическому опыту. Теория также отрицает какое-либо увеличение энтропии (т. е. «порядка») для Вселенной в целом, потому что для нее требуется неменяющаяся Вселенная. Хотя физические процессы у нас на Земле свидетельствуют о кажущейся неизбежности увеличения энтропии, мы с помощью телескопа не можем сказать, не уменьшается ли она во Вселенной в целом.

Короче говоря, многие стороны теории Стационарной Вселенной привлекают к ней внимание ряда ученых и философов, хотя она и противоречит некоторым глубоко заложенным инстинктам. В настоящее время наши наблюдения природы не могут доказать ее неправоту.

Сущность и мощь современной науки состоят в экспериментальном подтверждении или опровержении гипотез. Лишь в том случае, когда две гипотезы не могут быть проверены экспериментально, ученые могут себе позволить роскошь сделать эстетический выбор. Это тоже научный метод, отражение объективной реальности, за исключением таких случаев, когда гипотезы искажаются приверженцами традиционных взглядов (вспомним первоначальное сопротивление «неестественной» квантовой теории) или ретивыми коммивояжерами. В космологии экспериментальные данные не являются решающими.

И теория Большого Взрыва, и теория Стационарной Вселенной отвечают шести первоначально сформулированным условиям. Кроме того, как уже упоминалось, теория Большого Взрыва подкрепляется избытком красного цвета у далеких эллиптических галактик. Хотя гипотеза илема, связанная с теорией Большого Взрыва, и обеспечивает возможный механизм образования различных химических элементов, она должна была признать творение рабочего материала — протонов, нейтронов и электронов. Это признание акта творения должно нас беспокоить не более чем признание теорией Стационарной Вселенной вечного существования химических элементов. Некоторые космологи, в частности Д. Сиамы, считают гипотезу создания элементов отрицательной стороной теории Большого Взрыва, так как в ней существует множество мелких противоречий, каждое из которых может погубить теорию.

При поисках методов решающей проверки обеих главных космологий становится ясным, что большинство таких методов зависит от точных наблюдений очень далеких галактик. Атмо-

сфера и ионосфера Земли искажают и поглощают свет и радиоволны. Предлагаемые ниже три метода в значительной степени зависят от вынесения астрономических инструментов за пределы газовой оболочки Земли — туда, где видимость лучше. Для этой цели на искусственных спутниках Земли все в больших количествах устанавливают спектрометры, счетчики рентгеновских лучей и радиотелескопы.

Вот три позиции метода проверки обеих теорий:

1. Первый метод состоит в более детальном изучении форм, размеров и спектров галактик, находящихся на различных расстояниях от нас. Если будут обнаружены какие-либо систематические изменения помимо красного смещения, вызываемого эффектом Доплера, то теория Стационарной Вселенной, требующая однородности при усреднении галактик по большим объемам, будет развенчана. Наблюдаемый избыток красного цвета у эллиптических галактик попадает под эту категорию, но многие ученые считают это свидетельство еще недостаточным. Серьезную помощь оказал бы в этом деле большой телескоп, установленный на космической станции или на лишенной атмосферы Луне, где искусственный свет не мешал бы наблюдениям.

2. Теория Стационарной Вселенной требует также, чтобы постоянная Хаббла не менялась с увеличением расстояния от Земли, т. е. чтобы расширение было равномерным. Сейчас имеются довольно неточные данные, но они как будто свидетельствуют об увеличении постоянной Хаббла с расстоянием. Один из вариантов теории Стационарной Вселенной предсказывает, что скорость разбегания галактик должна уменьшаться со временем. Таким образом, постоянная Хаббла для более далеких галактик должна быть больше, потому что мы видим их такими, какими они были миллиарды лет назад, когда разбегались быстрее. И снова для решения этого вопроса требуется больше данных.

3. Этот способ, как и два предыдущих, учитывает основную идею теории Стационарной Вселенной об однородности — свойство, которое можно довольно легко проверить пассивными наблюдениями с Земли. Если теория Стационарной Вселенной верна, то галактики и любые другие астрономические объекты должны быть равномерно распределены в пространстве. Мы уже знаем, что для галактик это справедливо, но как обстоит

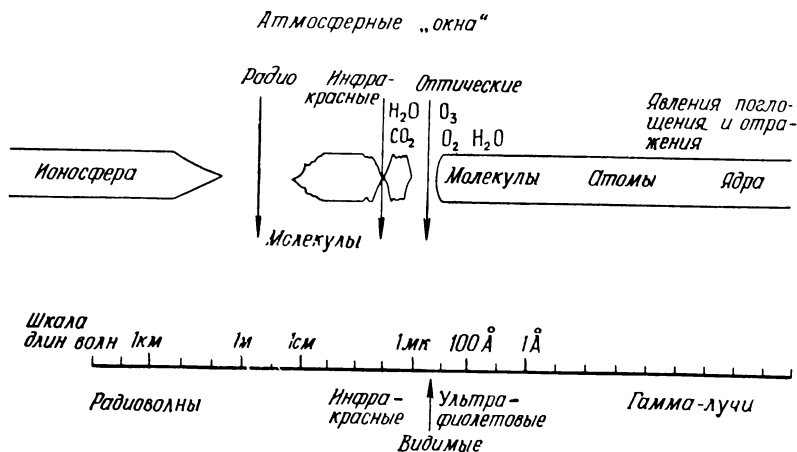


Рис. 4. Поглощение в атмосфере позволяет электромагнитному излучению лишь некоторых длин волн проходить к инструментам на поверхности Земли ($1\text{ мк} = 10^{-6}\text{ м}$, $1\text{ Å} = 1\text{ ангстрем} = 10^{-10}\text{ м}$).

дело с другими объектами? Для такой проверки выбраны радиоисточники*, которые обладают тем преимуществом, что испускаемое ими длинноволновое излучение мало подвержено влиянию межзвездной пыли. Метод состоит в том, что измеряется интенсивность каждого радиоисточника, а затем строится график число радиоисточников — интенсивность. Число радиоисточников, видимых в сфере радиусом R , должно быть пропорционально R^3 , а интенсивность каждого такого объема обратно пропорциональна R^2 . Если радиоисточники распределены равномерно и в среднем имеют одинаковую интенсив-

* Радиоастрономические наблюдения обнаружили большое число внегалактических источников мощного радиоизлучения. Только очень небольшую часть этих источников удалось отождествить с оптически наблюдаемыми галактиками (некоторые из них дают очень интенсивное радиоизлучение — их называют радиогалактиками) или с квазарами, о которых речь будет идти в следующей главе. Тем не менее ясно, что действительно подавляющее большинство радиоисточников есть невидимые нами галактики и их можно вполне использовать для подобного анализа.

В оригинале автор употребляет устаревший термин «радиозвезда», который здесь заменен на более правильный термин «радиоисточник». — *Прим. ред.*

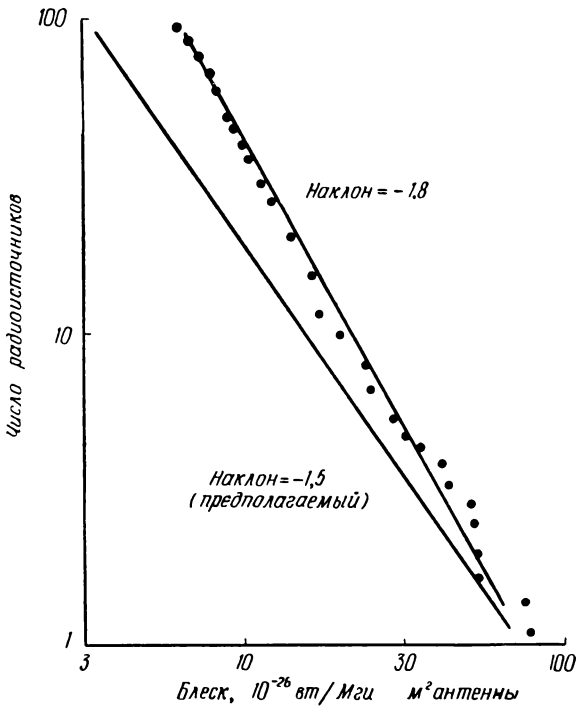


Рис. 5. Число радиисточников, видимых радиотелескопами с большими антеннами, показывает, что с увеличением расстояния их количество превышает число, ожидаемое теорией Стационарной Вселенной.

ность, то на графике число радиисточников — светимость должна получиться прямая с наклоном $-3/2$. Первые подсчеты такого рода, проведенные П. Ф. Скоттом и М. Райлом в Кембриджском университете, показали, что наклон прямой ближе к $-1,8$, к разочарованию сторонников теории Стационарной Вселенной. Однако эти результаты нуждаются в дополнительной проверке, и, как принято в науке, исследование будет дублировано другими наблюдателями.

Между тем сторонники теории Большого Взрыва испытывают чувство удовлетворения, потому что все данные, хотя и

носящие предварительный характер, по-видимому, опровергают теорию Стационарной Вселенной. Защитники же последней заняты поисками таких модификаций своей теории, которые спасли бы ее основу и при этом учитывали современные данные наблюдений, если они будут подтверждены другими учеными с помощью нового и лучшего оборудования. Даже если теория Стационарной Вселенной будет в конце концов сброшена с колесницы науки, она сыграет свою благородную роль, заставив космологов отточить карандаши и усовершенствовать теории, а также инструменты. Ведь именно гипотеза, *которая поддается проверке*, оказывается самой полезной для науки; она достаточно определена для того, чтобы сказать «да» или «нет» на поле завершающей битвы экспериментальных данных.

Если теория Стационарной Вселенной окажется ошибочной, это еще не будет означать справедливости теории Большого Взрыва, хотя последняя и останется главным фаворитом. Чтобы доказать ее правильность или ошибочность, придется прибегнуть к новым методам проверки. И если одна космология отомрет, на ее месте вырастут другие. Несомненно, завтрашние инструменты, установленные на искусственных спутниках и лунных базах, откроют новые свойства Вселенной, которые потребуют лучших и более широких космологий.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- Bondi H., Cosmology, Cambridge University, 1960.
 Coleman J. A., Modern Theories of the Universe, Signet P-2270, 1963.
 Eddington A. S., The Expanding Universe, Cambridge University Press, New York, 1933.
 Gamow G., The Creation of the Universe, The Viking Press, New York, 1961.
 Glasstone S., Sourcebook on the Space Sciences, D. Van Nostrand Co., Princeton, 1965.
 Hoyle F., Galaxies, Nuclei, and Quasars, Harper & Row, New York, 1965 (русский перевод: Хойл Ф., Галактики, ядра и квазары, изд-во «Мир», М., 1968).
 Hoyle F., Frontiers of Astronomy, Harper & Bros., New York, 1955.
 Hoyle F., The Nature of the Universe, Signet P-2331, 1960.
 McVittie G. C. General Relativity and Cosmology, University of Illinois Press, Urbana, 1965 (русский перевод 1-го изд.: Мак-Витти Дж., Общая теория относительности и космология, ИЛ, М., 1961).

- Munitz M. K., Theories of the Universe, Free Press, New York, 1957.
North J. D., The Measure of the Universe: A History of Modern Cosmology, Oxford University Press, New York, 1965.
Sciama D. W., Modern Cosmology, International Science and Technology, p. 38, Feb. 1965.
Shapley H., ed., Source Book in Astronomy, 1900—1950, Harvard University Press, Cambridge, 1960.
Singh J., Great Ideas and Theories of Modern Cosmology, Dover Publications, New York, 1961.

Гинзбург В. Л. Современная астрофизика, изд-во «Наука», М., 1970.
Комаров В. Н., Увлекательная астрономия, изд-во «Наука», М., 1968.

КВАЗАРЫ: У ГРАНИЦ БЕСКОНЕЧНОСТИ

Время от времени госпожа Природа подкрадывается к ученым и дает им хорошего пинка. Открытие радиоактивности, поимка реликтовой рыбы целакантуса и обнаружение «организованных элементов» в метеоритах разбили многие святыни храма науки. В конце концов подобные неожиданные, с трудом осмысливаемые события приводят к укреплению фундамента науки, но до тех пор, пока эти новые камни не улягутся на свои места, кажется, что царит интеллектуальная анархия. С тех пор как квазары в начале 1960-х годов появились на астрономической сцене, с лиц астрономов и космологов не сходит выражение недоумения. Никто не знает, что такое квазары, но чем бы они ни были, ни один писатель-фантаст не помещал на небе более мощных источников энергии и более таинственных объектов.

Квазар означает квазизвездный объект: это сокращение * предложил Х. Цью — физик Годдардовского центра космических полетов NASA [NASA — Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства США]. Слово *квазар* привлекательно звучит для популяризаторов, но не вызывает особых симпатий у астрономической братии. Но если отвлечься от семантических рассуждений, то все признают, что среди галактик, наблюдаемых с помощью оптических и радиотелескопов, встречаются сотни вызывающих недоумение «объектов». У квазаров имеются следующие важнейшие особенности:

некоторые (но не все) квазары представляют собой мощные источники радиоизлучения — факт, который и привел к их открытию;

* По-английски квазизвездный объект звучит так: *quasistellar object*. В сокращенном обозначении оставлены первый и последний слоги первого слова. — *Прим. ред.*

по-видимому, все квазары являются мощными источниками видимого излучения, наиболее сильного в ультрафиолетовой области;

у квазаров наблюдаются большие «красные смещения» и отсутствуют «фиолетовые смещения»;

спектры квазаров характерны для горячего разреженного газа;

квазары испускают синхротронное излучение, создаваемое электронами, движущимися с ускорением под действием магнитных полей;

оптически и с помощью радиотелескопов установлено, что многие квазары обладают сложной структурой и подвержены периодическим изменениям блеска.

На первый взгляд во всем перечисленном нет ничего такого, из-за чего стоило бы поднимать большой шум. Трудности возникают тогда, когда пытаются свести все эти факты в единую разумную модель. (Конечно, квазары могут оказаться и за пределами разумного.)

Если, например, наблюдаемое красное смещение объяснять космологическим эффектом Доплера, то квазары должны находиться чрезвычайно далеко и, судя по их яркости, должны испускать в сотни раз больше энергии, чем самые крупные из известных галактик. Если же красное смещение вызвано гравитационным воздействием квазаров на испускаемые ими фотоны, то квазары расположены вблизи нас и представляют собой чрезвычайно компактные и плотные тела, которые не могут обладать спектром, характерным для разреженных газов. Как видите, концы с концами не сходятся.

Большинство астрономов-теоретиков пытались найти механизм, способный вырабатывать то огромное количество энергии, которое характерно для первого предположения, имеющего в настоящее время наибольшее число сторонников. Особого успеха они не добились, как, впрочем, и все другие, занимавшиеся проблемой квазаров.

Короче говоря, астрономы обнаружили новую разновидность небесных тел и не могут установить ее родословной. Следующим шагом должно явиться более глубокое рассмотрение данных наблюдений, построение теоретических моделей и разработка методов, с помощью которых можно было бы выбрать лучшие модели или предложить новые.

Астрономы видят квазары уже больше ста лет. Перебирая фотографические пластинки Гарвардского «небесного патруля», они обнаружили снимки квазаров, сделанные еще в 1888 г. Но до 60-х годов нашего столетия квазары считались звездами нашей Галактики, испускающими необычно большое количество ультрафиолетовых лучей. Их называли «голубыми» звездами и причисляли к «различным странным объектам». Объяснением их особенностей собирались заняться после того, как будут выявлены основные черты видимой Вселенной с ее 10^{21} звезд. Только после того, как радиотелескопы с огромными антеннами также выделили эти голубые звезды, их необычность привлекла большое внимание. Вот случай, когда новый инструмент помог астрономам выделить важные небесные объекты среди миллиардов окружающих звезд.

До последнего времени мы познавали небеса только глазами, усиливая их зоркость при помощи оптических телескопов. Чувствительность наших «астрономических» органов чувств была продлена в радиообласть электромагнитного спектра совершенно случайно. В 1931 г. некий инженер Карл Янский работал в лаборатории фирмы «Белл телефон» в Нью-Джерси над проблемой происхождения помех, наблюдавшихся при радиотелефонных переговорах на больших расстояниях. После того как он выделил радишумы, создаваемые человеком, и шумы, вызываемые вспышками молний, остался еще слабый источник шума, связанный с вращением небесной сферы. Янский даже заметил, что источник радишума концентрируется в созвездии Стрельца — в направлении к центру нашей Галактики. Так родилась радиоастрономия. Но Карла Янского больше интересовали проблемы связи, и он вскоре перестал заниматься этим.

Открытие Янского имело широкий отклик, но никто сразу не поднял брошенную им перчатку. Радиоастрономия так бы и прозябала на страницах технических журналов, если бы не энтузиаст-радиолобитель Грот Ребер. Без разрешения властей и не имея никакого отношения к научным организациям, Ребер построил у себя во дворе направляемую параболическую антенну диаметром около 10 м. В течение десятилетия он был единственным радиоастрономом в мире. Ребер открыл несколько «радиозвезд» и нарисовал радиокарты тех областей неба, которые он мог наблюдать из своего дома, расположенного на Среднем Западе США. Ребер пытался провести еще один экспе-

римент: получить отражение радиосигналов от Луны. Эксперимент не удался: он слишком многого хотел от своего собственноручно изготовленного оборудования. Публикация радиокарт Ребера в 1942 г. снова пробудила интерес к радиоастрономии, но с серьезными исследованиями пришлось подождать до конца второй мировой войны.

Сегодняшняя радиоастрономия успешно дополняет оптическую астрономию. С помощью гигантских радиотелескопов — параболическая антенна телескопа в Джодрелл Бэнк (Англия) имеет 75 м в диаметре — астрономы слушают (а не «видят») радиосигналы, зарождающиеся в солнечной короне, в радиационных поясах Юпитера, в атмосферах радиозвезд и само собой в квазарах*.

Для радиоастрономов небо не усеяно мириадами привычных звезд. Нет ни колец Сатурна, ни спиральных галактик, ни множества других деталей. Радиотелескопы не могут выделить «ювелирных» подробностей. Более того, радионебо выглядит весьма темным. Обычные звезды (за исключением Солнца) и галактики испускают так мало энергии в радиолучах, что мы их вообще не можем зарегистрировать. На общем «шумовом» фоне излучения возбужденного межзвездного водорода на волне 21 см выделено меньше двух тысяч отдельных источников радиоизлучения. Из них лишь около сотни совпадают с видимыми объектами. И действительно, радиокарты и оптические карты неба почти ничего общего не имеют. Но в случаях, когда источник радиоизлучения совпадает с оптическим, ученым приходится много поработать для объяснения природы этих объектов. Таким образом, радиотелескопы выявляют проблемные области, которые иначе растворились бы в звездных полях, содержащих множество объектов, даже не поддающихся подсчету.

Первоначально считали, что все источники радиоизлучения находятся в пределах нашей Галактики. Многие из них расположены вблизи плоскости Галактики, но имеются источники, равномерно (изотропно) распределенные по небу. Это

* И все же радиоастрономы не «слушают» радиосигналы — их не услышишь, потому что частоты очень велики, — а смотрят на записи, полученные на приборах, присоединенных к радиотелескопам. — *Прим. ред.*

«изотропное население» должно либо находиться за пределами Галактики и не быть связанным с ее центральной плоскостью, либо представлять очень близкие к нам объекты, но настолько слабые, что сфера их обнаружения лежит внутри диска Галактики. Визуальные наблюдения подкрепляют первое предположение.

А как же обстоит дело с той сотней источников радиоизлучения, которые совпали с видимыми объектами за пределами солнечной системы? Примерно половина из них, по-видимому, оказалась необычными галактиками, причем радиоизлучающая область многих из них имеет форму гантели. Иногда радиоволны и излучение в оптическом диапазоне испускаются двумя или более галактиками неправильной формы, находящимися вблизи друг от друга *. Мощными источниками радиоизлучения являются также некоторые необычные богатые газом спиральные галактики. Всех их называли *радиогалактиками*. Сильными источниками радиоизлучения внутри нашей Галактики оказались газовые туманности и остатки сверхновых звезд. Наконец, еще одним существенным источником радиоизлучения явились уже упоминавшиеся голубые звезды, названные квазарами.

На фотографических пластинках квазары выглядят точно так же, как звезды. Почему же нельзя сказать, что это просто особый вид звезд нашей Галактики? Что делает их сенсационными и полными противоречий?

В течение трех лет (1960—1963) предполагали, что голубые радиозвезды — члены нашей Галактики. Но никто не мог точно сказать, находятся ли они внутри или вне нее, так как не существовало способа измерения расстояний до этих тел. Сложившаяся ситуация напоминала споры о положении спиральных галактик, которые велись в начале нашего века. Далеки ли они от нас или близки? Кто мог сказать это, не имея подходящей мерки? Меркой для спиральных галактик в конце концов оказались переменные звезды — цефеиды и красное

* Когда в 1952 г. Вальтер Бааде отождествил мощный источник радиоизлучения в созвездии Лебедя с парой столкнувшихся галактик, это было своего рода сенсацией. В настоящее время идея столкновения галактик — пройденный этап: при этом выделяется недостаточно кинетической энергии, да к тому же такие столкновения слишком редки, чтобы ими можно было объяснить столь многочисленные объекты.

смещение, описанные в гл. 1. К сожалению, линии излучения в спектрах квазаров немногочисленны и их не могли отождествить с линиями известных химических элементов. Дело осложнялось еще и тем, что квазары выглядели очень похожими на соседние звезды, и у них не предполагали обнаружить большие красные смещения. Предположения оказались ошибочными — случилось то, чего никто не ожидал.

Сдвинула дело с мертвой точки короткая статья Маартена Шмидта, появившаяся 16 марта 1963 г. в английском журнале «Nature» («Природа»). Статья называлась «3C 273: звездopodobный объект с большим красным смещением». В этом заголовке заключалась вся тайна квазара. Обозначение «3C 273» указывает, что данный объект занесен в третий кембриджский (3C) каталог небесных радиисточников. Одновременно это была видимая звезда с большим красным смещением. К декабрю 1963 г. было обнаружено 9 квазаров. Страсти накалились, так как радиотелескопы, оптические телескопы и спектрометры всего мира были направлены на эти «звезды», которые вовсе не были звездами.

Поскольку ученый мир практически ничего не знал о квазарах, можно было ожидать, что будет составлена программа выявления их точных характеристик. Но это не тот путь, по которому идут ученые. Не было никакой регламентации специалистов и оборудования. Для крупных инструментов, например радиотелескопа в Джодрелл Бэнк и 200-дюймового оптического телескопа обсерватории Маунт Вилсон, программа составляется на много месяцев вперед, и изменить ее нелегко. В этих случаях решение о том, что нужно наблюдать квазары, должны принимать комитеты, а не отдельные лица. Однако если квазарам заинтересуется отдельный ученый, он может отложить свою текущую работу и сразу же направить свой инструмент на первый попавшийся квазар. К счастью, квазар представляет собой достаточно интригующий объект, чтобы вскружить головы даже самым консервативным астрономам.

Экспериментальная проблема заключается в следующем. Испускаемые квазарами фотоны и радиоволны проходят сквозь земную атмосферу к объективам телескопов и радиоантеннам. Могут ли эти сигналы дать нам достаточную информацию, чтобы разгадать истинную природу квазаров? С помощью

пассивных телескопических наблюдений мы можем надеяться изучить следующие свойства квазаров:

Спектры квазаров — в пределах тех длин волн, которые могут проникнуть сквозь радио- и оптические «окна» в нашей атмосфере. В действительности эти «окна» довольно узкие. Если бы удалось использовать космический корабль, то он мог бы исследовать излучение в ультрафиолетовой и рентгеновской областях спектра.

Измерить угловой диаметр квазаров в оптических и радиочастотах. Эти два диаметра могут отличаться друг от друга, поскольку физическая природа радио- и световых волн различна.

Форму квазаров, т. е. шарообразны ли они, эллипсоидальны или имеют более сложную фигуру.

Блеск квазаров в оптических и радиолучах во времени.

Поляризацию излучений квазаров. При многих физических процессах, например при ускорении потоков электронов, в магнитных полях, испускается поляризованное излучение.

Число квазаров и их распределение по небу. Может быть, они сравнительно многочисленны и равномерно распределены?

Абсолютные расстояния, диаметры, скорости и мощность излучения непосредственно измерить нельзя. Они зависят от интерпретации указанных выше исследований. Наиболее важна принятая шкала расстояний. Например, если известно расстояние, то по угловому диаметру и блеску можно найти линейный диаметр и общую мощность излучения.

Квазары слишком далеки от нас, чтобы расстояние до них можно было определить с помощью триангуляции, даже если в качестве базиса принять диаметр земной орбиты (т. е. у них нет наблюдаемых параллаксов). Непохоже также, чтобы они были связаны с какими-нибудь галактиками, находящимися на известных расстояниях. Таким образом, остается единственный способ определения расстояний квазаров — измерить существующее у них красное смещение и признать его космологическим. Именно это и совершил Маартен Шмидт в 1963 г.

Шмидт изучал оптический спектр одного из самых ярких квазаров — 3С 273. Первоначально не удавалось отождествить эмиссионные линии в спектре квазара с линиями известных атомов. Но затем Шмидт обратил внимание на три спектральные линии, частоты которых были связаны простой зависимостью (подобно фортепьянным аккордам), причем их интенсив-

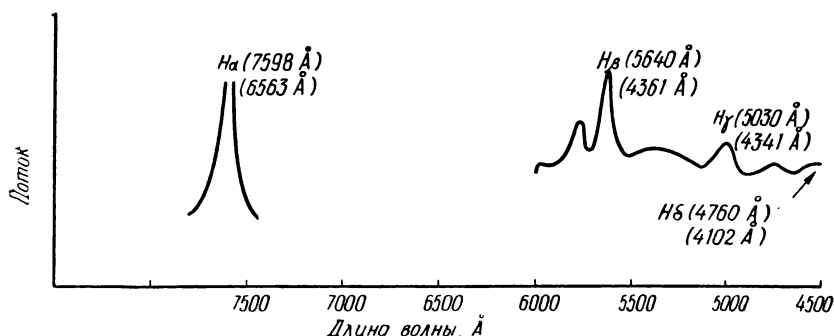


Рис. 6. Спектр квазара 3С-273, измеренный фотоэлементом. Линии водорода бальмеровской серии обычно обнаруживаются на более коротких длинах волн, указанных в скобках. Вместо этого оказалось, что они были смещены к инфракрасной области спектра примерно на 16%. Линия $H\alpha$ была смещена из видимой в инфракрасную область спектра. Дж. Оук обнаружил ее в месте, предсказанном Маартеном Шмидтом.

ности и интервалы между ними уменьшались по мере приближения к ультрафиолетовому концу спектра. Эти три линии напоминали линии бальмеровской серии, испускаемые водородоподобными атомами. Загадка состояла в том, что линии находились не там, где их предполагали увидеть в спектре. Они не соответствовали ни одному известному на Земле химическому элементу. Все же Шмидт эту загадку разгадал, но для этого ему пришлось пренебречь тем, что звезды (вспомните, что квазары выглядят как звезды нашей Галактики) не обладают большими красными смещениями. Он предположил, что эти линии принадлежат водороду и смещены к красному концу спектра на 16%. Бальмеровская линия водорода с обычной длиной волны 6563 Å должна была бы соответствовать 7590 Å, т. е. находиться в инфракрасной области спектра и даже за пределами шмидтовской спектрограммы.

Инфракрасная линия водорода была впоследствии найдена Оуком (из Калифорнийского технологического института) как раз там, где ее предсказывал Шмидт. Таким образом, как только Шмидт отказался от предвзятого мнения о красном смещении, спектры других квазаров стали понятными. Все они характеризовались большим красным смещением. Быстро были

отождествлены линии ионизованного магния, кислорода и неона. Но прогресс в спектральных исследованиях лишь усугубил тайну. Квазары походили на звезды с большими красными смещениями и обладали спектрами, типичными для раскаленных разреженных газов, что резко противоречило одно другому.

До сих пор для распознавания квазаров пользовались лишь оптическим спектром. К счастью, некоторые из них излучают радиоволны, иначе, кто знает, сколько бы еще времени астрономия их игнорировала? Мощность радиоизлучения квазара 3С 273 была измерена в функции частоты. Результат (см. ниже) показывает, что интенсивность потока радиоизлучения падает с увеличением частоты. Полученная кривая по своей форме сходна с кривой синхротронного излучения, т. е. радиоволн, испускаемых электронами, движущимися в магнитных полях. Измерения поляризации подтверждают синхротронную природу излучения. Если бы излучение электронов носило тепловой характер, то интенсивность потока быстро падала бы при низких частотах и он не был бы поляризован. Таким образом, радиоастрономия дает в наши руки еще один ключ к разгадке квазара, по крайней мере той его части, которая излучает радиоволны.

Когда мы смотрим на Солнце, мы видим яркий диск, разукрашенный темными пятнами, корону, протуберанцы и другие детали, которые астрономы называют «тонкой структурой». В то же время фотография Солнца, сделанная на воображаемую пленку, чувствительную к радиолучам, показала бы, что корона распространяется на миллионы километров за пределы видимого диска. Поэтому неудивительно, что квазары выглядят по-разному в лучах разных длин волн.

В *видимой* части спектра квазары кажутся обычными звездами. Более тщательное изучение показывает, что некоторые из них обладают размытыми гало. Квазар 3С 273, наш излюбленный объект исследования, имеет выброс связанного с ним вещества. Трудность заключается в том, что этот квазар, внешне представляющий невинной обычной звездой, скрывает за своим «фасадом» загадочные физические явления.

Радиоизображения квазаров подтверждают наше подозрение. На многих заметны источники радиоизлучения в виде гантели, в средней части которой находится область оптического излучения квазара. Такую же структуру имеют многие радио-

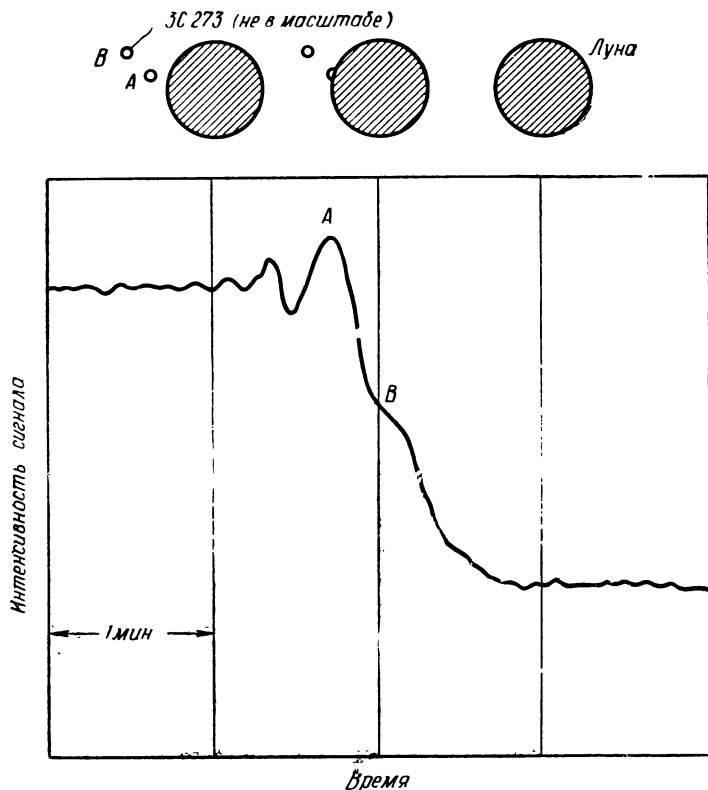
галактики. Одного этого открытия достаточно, чтобы привлечь внимание любого астронома; однако проблема заключается в том, чтобы рассмотреть как можно больше деталей с помощью радиотелескопов, обладающих низкой разрешающей способностью. К счастью, Луна иногда проходит перед квазаром ЗС 273, закрывая его на несколько минут. Когда край Луны затмевает квазар, возникает дифракционная картина *. По этой дифракционной картине ученые могут точно установить размеры и форму радиоизображения квазара.

В 1962 г. Луна затмевала квазар ЗС 273 15 апреля, 5 августа и 26 октября. Трое ученых — Хазард, Маккей и Шимминс, — работая с 65-метровым австралийским радиотелескопом, исследовали дифракционную картину на частотах 136, 410 и 1420 Мгц. Перед затмениями им пришлось спилить с телескопа несколько тонн металла, чтобы его можно было устанавливать под достаточно малыми углами. За несколько часов до каждого затмения все местные радиостанции обращались к жителям с призывом выключить все радиопередатчики на те минуты, которые будет длиться эксперимент. Вблизи телескопа не должна была появляться ни одна машина. Чтобы подчеркнуть важность эксперимента, можно еще упомянуть о том, что были сделаны дубликаты записей, которые разными самолетами отправлялись в Сидней.

Усилия австралийских радиоастрономов оказались не напрасными. Квазар ЗС 273 имел форму двойного источника радиоизлучения, соединенного с видимым выбросом. Один из двух эллипсоидальных концов гантели накладывался на видимое звездообразное изображение. О том, что все это означает, можно лишь строить догадки. По крайней мере для астрономов-теоретиков это новое «сырье» для их «фабрик», вырабатывающих гипотезы, связанные с квазарами, и модели последних.

Угловые размеры оптического и радиоизображения квазара ЗС 273 оказались значительно меньше размеров обычных галактик, находящихся на таком же расстоянии. Конечно, оценка расстояния основана на предположении, что красное

* В школьном курсе физики дифракция обычно иллюстрируется следующим опытом: свет от булавочного отверстия падает на монетку, проецирующуюся на экран, причем на тени от монетки возникает группа светлых колец, а в центре тени видно яркое пятно.



Р и с. 7. Картина дифракции радиоизлучения, наблюдавшаяся во время затмения Луной квазара 3С 273 5 августа 1962 г. Анализ этой картины позволил ученым с большой точностью найти размеры и положение компонентов А и В. Подобная картина наблюдалась, когда квазар появился из-за Луны. (По Гринштейну.)

смещение квазара 3С 273 вызвано эффектом Допплера. Короче говоря, если красное смещение указывает, что квазар находится далеко, то похоже, что квазар слишком мал, чтобы вырабатывать наблюдаемый поток энергии; если же красное смещение вызвано гравитацией и квазар находится близко от нас, то он должен быть значительно более плотным, чем любая извест-

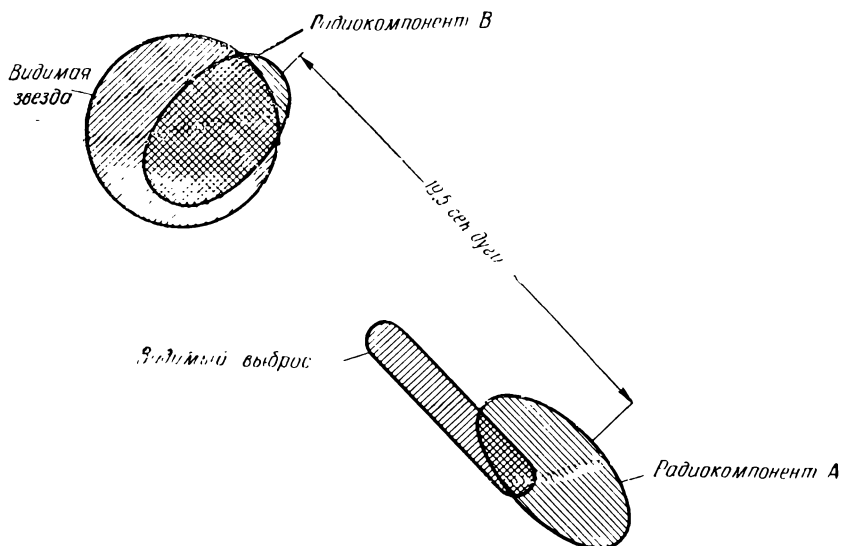


Рис. 8. Радиоструктура и оптическая структура квазара 3С 273. Радиокарта была составлена в результате наблюдений во время трех затмений квазара Луной.

ная нам форма вещества. Все новые открытия, связанные с квазарами, только углубляют их загадочность.

Все еще более запуталось, когда при просмотре старых снимков неба выяснилось, что квазары периодически меняют свой блеск. У квазара 3С 273 эти колебания происходят с 13-летним периодом. В 1929 г. блеск этого квазара достиг минимума. В 1965 г. Дент опубликовал данные, показывающие, что радиосигналы квазаров *также* колеблются со временем. Такой короткий период колебаний подкрепляет мнение о том, что квазары не могут быть галактиками, поскольку галактики имеют протяженность в тысячи световых лет и никакие общие изменения блеска не могли бы происходить в галактике за 13 лет, даже если бы они распространялись со скоростью света.

Возможно, самые поразительные открытия еще впереди. Не исключено, что у квазаров, как у айсбергов, мы видим лишь малую часть всей картины. Те несколько десятков квазаров, которые сейчас известны, были обнаружены лишь с помощью

радиотелескопов, выделивших их из миллиардов однотипных изображений звезд. Астроном Аллан Сэндейдж задумался над тем, не слишком ли слаба радиообласть спектра некоторых квазаров, чтобы их можно было обнаружить. Поэтому он попытался открыть новые квазары, проверяя все звезды с мощным излучением в ультрафиолетовой области спектра — характерная черта, общая для квазаров и немногих других астрономических тел. Сэндейдж нашел очень много таких объектов — около двух на квадратный градус, — которые назвал «интерлоперами» или «квазизвездными галактиками». Неизвестно, сколько из этих интерлоперов с характерным для квазаров видимым спектром, но без их радиоизлучения в действительности являются квазарами. У некоторых из них обнаружено красное смещение, как у квазаров, и многие интерлоперы безусловно квазары. Возможно, до сих пор мы изучали нетипичную разновидность, излучающую радиоволны. Весьма вероятно, что квазары очень многочисленны и обрисовывают совершенно новое лицо Вселенной, видимое в наши телескопы, но не распознанное в течение всех этих веков, так как квазары маскировались под обычные звезды.

Подведем некоторые итоги. Факты таковы (см. стр. 49).

Хватит о фактах. Как мы теперь можем их использовать? Приведенная выше таблица представляет собой досье квазаров, которое мы можем сравнить со сводкой характеристик других известных астрономических объектов. Если сравнение покажет, что между ними нет ничего общего (а это так и есть), то мы можем использовать наше досье для оценки моделей, которые астрономы строят, пользуясь законами физики и богатым воображением.

Прежде чем мы приступим к описанию двух основных предложенных моделей квазаров, полезно будет разобраться в различных теориях.

Мы уже отказались от старой, некогда популярной механистической и интуитивно привлекательной гипотезы столкновения галактик. Визуально большинство квазаров представляет собой одиночные объекты. Кроме того, столкнувшиеся галактики, хотя и излучают несоизмеримо больше энергии, чем любая звезда, должны выглядеть ничтожно слабыми по сравнению с квазарами, если бы они в действительности находились на расстояниях галактик.

Тип исследования	Характеристики квазаров
<i>Оптическая спектроскопия</i>	Большие красные смещения. Спектры, типичные для горячего разреженного газа. Интенсивное излучение в фиолетовой области спектра
<i>Исследование радиоизлучения в функции частоты с помощью радиотелескопов</i>	Радиоспектр, подобный спектру синхротронного излучения
<i>Оптический телескоп с высокой разрешающей способностью</i>	Звездоподобный вид, иногда со следами слабых туманностей или тонкой структурой. Не похожи на галактики. Довольно малый угловой диаметр
<i>Радиотелескоп с высокой разрешающей способностью во время затмений квазара Луной</i>	Многие квазары имеют источники радиоизлучения в форме гантели, связанные с видимым изображением. У некоторых форма даже более сложная. Радиоизображение значительно больше оптического
<i>Исследования на протяжении длительного времени с помощью телескопов и старых фотографических пластинок</i>	Оптический и радиоблеск периодически меняются, причем в некоторых случаях периоды составляют всего несколько месяцев
<i>Поляриметрия радиоизлучения</i>	Радиоволны поляризованы, как это должно быть у синхротронного излучения
<i>Подсчеты с помощью телескопов</i>	Сотня квазаров, обнаруженных с помощью радиотелескопов, представляется равномерно распределенной по небу. Открыто также множество «радионемых» объектов (интерлоперов), обладающих другими свойствами квазаров

Красное смещение квазара могло бы быть вызвано мощным гравитационным притяжением, оказываемым чрезвычайно массивной или плотной звездой на фотоны, вылетающие с ее поверхности. И на самом деле гравитационное притяжение «растягивает» электромагнитные волны, уменьшает их частоты

и сдвигает весь спектр к красному концу. Это происходит у так называемых нейтронных звезд. Вещество нейтронных звезд сжато так сильно, что обычные атомные структуры расплющены. В таких звездах стабильной формой вещества являются нейтроны и более массивные частицы, называемые гиперонами. Плотность нейтронных звезд может в сотни тысяч раз превосходить плотность железа. Вполне возможно, что некоторые нейтронные звезды настолько массивны, что их гравитационное притяжение не позволяет фотонам вообще удаляться от звезды, препятствуя излучению света и тем самым превращая звезду в невидимый объект. Теоретики немало рассуждали о том, что самые крупные и самые «яркие» объекты во Вселенной, возможно, остаются для нас невидимыми. Быть может, квазары — это нейтронные звезды, которые испускают немного света? Ответом будет весьма категорическое *нет*. Гравитационное поле на поверхности нейтронной звезды слишком мощное для того, чтобы там существовал горячий разреженный газ, присутствие которого подтверждают спектры квазаров. Большинство астрономов теперь признают, что красное смещение квазара вызывается огромной скоростью его удаления от Земли.

Поскольку квазары больше похожи на звезды, чем на галактики, не являются ли они членами нашей собственной Галактики, выбрасываемыми из нее с огромной скоростью в результате гигантского взрыва? Тогда красное смещение квазаров не было бы космологическим и не связывалось бы с расстоянием постоянной Хаббла, описанной в гл. 1. Идея представляется приемлемой, но если принять во внимание скорости квазаров (16% скорости света у квазара 3С 273 и свыше 80% у остальных), то астрономы уже давным-давно должны были бы обнаружить их стремительное движение на фоне неподвижных звезд. Значит, квазары — не тела нашей Галактики, движущиеся с огромными скоростями, хотя они могли бы быть осколками, выталкиваемыми из Галактики, но находящимися в настоящее время так далеко, что их собственное движение незначительно (впрочем, ближе соседних галактик). На астрономическом языке квазары могли бы быть одновременно и «местными» и внегалактическими телами.

Оставшиеся нерассмотренными модели квазаров не так изящны, как космологические модели Большого Взрыва или

Стационарной Вселенной. Квάζары настолько новы, что теория отстает от наблюдений, хотя теоретики и говорят, что просто нет достаточных данных для построения удовлетворительной теории.

Английский космолог Фред Хойл и некоторые другие астрономы придерживаются мнения, что квазары — это осколки, разбрасываемые с огромной скоростью галактическими взрывами, происшедшими недалеко от нас. В пользу этой гипотезы говорит тот известный факт, что при взрывах в радиогалактиках выделяется такое количество энергии, которое достаточно для выброса масс, в десятки миллионов раз превосходящих массу Солнца, со скоростями, близкими к скорости света. Закон сохранения момента количества движения, конечно, требует, чтобы движение одного квазара уравнивалось движением другого в противоположном направлении. И действительно, большинство радиогалактик обладает гантелевидной структурой, предполагающей наличие действия и противодействия. По этой модели квазары — огромные ядра, выстреливаемые в пространство радиогалактиками, служащими пушками с двумя противоположно направленными жерлами. Квазары, связанные с источниками радиоизлучения, могут находиться в процессе выстреливания из этих пушек. Однако большинство квазаров должно было достаточно далеко улететь от своих пушек; это могли быть интерлоперы, открытые Алланом Сэндейджем. С помощью радиотелескопа в квазаре ЗС 273 мы, возможно, видим пушку (радиогалактику), а с помощью оптического телескопа — одно ядро. Гипотеза «пушки» настолько нова, что детали еще не разработаны. Одно из ее основных достоинств то, что квазары оказываются объектами разумных размеров со скромными энергетическими запасами вместо чудовищ у границ бесконечности, рисуемых следующей моделью. Поразительно и не очень убедительно отсутствие квазаров, движущихся к Земле: ни у одного квазара не найдено фиолетового смещения. Если «местная» модель правильна, то следует ожидать, что такие квазары будут обнаружены.

Последняя и самая популярная модель квазаров непосредственно вытекает из предположения, что красное смещение квазаров — космологическое. Тогда константа Хаббла помещает многие квазары на самый край Вселенной, и, как упоминалось выше, эта модель должна объяснить, как такие сравнительно

небольшие тела могут вырабатывать световую энергию порядка 10^{39} ватт и радиоэнергию порядка 10^{37} ватт.

Астрономы, как и космологи, не боятся больших чисел. Были предложены два энергетических механизма.

Самым подходящим источником энергии кажется атомное ядро. Возможно, что в наблюдаемых нами квазарах происходит цепная реакция вспышек сверхновых звезд, когда вспышка одной такой звезды вызывает вспышку другой. К сожалению, трудно понять, как такая огромная энергия может быть высвобождена при реакциях ядерного синтеза. Неясен и механизм «спуска курка».

Другой источник энергии — гравитация. Если масса тела составляет, например, сотню миллионов масс Солнца, то может наступить неожиданный коллапс, при котором выделяется энергия, раз в сто превышающая энергию ядерных источников. Для теории беда заключается в том, что гравитационная энергия высвобождается сначала медленно, а в конечной стадии коллапса — быстро. Трудно сочетать такой характер процесса с наблюдением. Вращение тела и разрыв его на куски могли бы замедлять процесс. Помимо всего прочего, гравитационный коллапс вполне мог бы служить источником энергии в конкурирующей гипотезе «пушечного ядра».

Оба описанных выше механизма встречаются с трудностями, связанными с источниками энергии, которые в свою очередь зависят от предположения, что красное смещение — космологическое.

После всего сказанного становится ясным, что построены эти модели на весьма зыбком основании. Либо у теоретиков не хватает воображения, чтобы полностью использовать имеющиеся данные наблюдений, либо самих этих данных слишком мало и они недостаточно точны.

Когда будут построены модели квазаров, легко будет сказать, оглядываясь на пройденный путь, что теперь у нас достаточно данных, чтобы синтезировать правильную модель. Не имея же возможности оглянуться назад, лучше всего заняться накоплением фактов. Следует поставить значительно больше вопросов. В частности, спектры квазаров нужно исследовать в других областях, особенно в инфракрасной. Переменность блеска квазаров в различных областях спектра также является предметом комплексного изучения. Для всех спектров следует

определять доплеровские смещения. Если будут обнаружены фиолетовые смещения, то модель, основанная на космологическом красном смещении, сойдет со сцены. В то же время если тщательные исследования пространства вокруг квазаров покажут, что квазары действительно являются членами скоплений галактик, то это открытие подтвердит их принадлежность к самым отдаленным из известных объектов, а не к сравнительно близким «пушечным ядрам» *.

* С тех пор, как автор писал эти строки, и до момента, когда редактор пишет это примечание, прошло около пяти лет. По современным масштабам развития науки — срок немалый, но ... «воз с квазарами и ныне там». Удовлетворительных моделей квазаров нет. Может быть, автор и прав, что у теоретиков не хватает воображения, чтобы полностью использовать имеющиеся данные наблюдений. Дело в том, что эти данные теперь довольно многочисленны, но, к сожалению, противоречивы. У многих квазаров, кроме линий излучения, по которым определялось их космологическое расстояние, есть и линии поглощения. Вся беда в том, что красное смещение разных линий поглощения у одного и того же квазара может оказаться различным и к тому же оно заметно отличается от красного смещения линий излучения. Этот твердо установленный наблюдательный факт является главным «камнем преткновения» для всех моделей квазаров. Есть и много других необъяснимых деталей.

Правда, кое-что можно утверждать и увереннее. Гипотеза «пушечного ядра» для квазара не годится. Все квазары находятся на больших космологических расстояниях. Процессы, происходящие в квазарах, очевидно, похожи на явления, имеющие место в ядрах галактик, особенно в наиболее активных из них, так называемых сейфертовских. Правда, это соответствие не очень помогло в создании моделей квазаров, так как мы не понимаем и того, что делается в ядрах галактик. Но, во всяком случае, удалось, казалось бы, изолированные экстравагантные объекты поставить в один ряд с более распространенным явлением. Кстати, ядро нашей Галактики — тоже какое-то сложное образование с неизвестными процессами. Многие считают, что квазары — это ядра зарождающихся галактик.

Выше в тексте автор упомянул о модели гравитационного коллапса. Ее нужно пояснить. Звезда «держится», не сжимается к очень малому объему только потому, что высокое газовое давление, поддерживаемое непрерывным сгоранием ядерного топлива, уравновешивает силу тяжести. Ядерные источники иссякают — тогда ничто уже не мешает звезде сжиматься под действием тяготения. Правда, ее вращение может разбросать часть вещества, но остальное будет спадать, «коллапсировать», со все увеличивающейся скоростью.

Если масса звезды больше двух масс Солнца, то она коллапсирует до какого-то состояния, которое мы даже не можем вообразить. Если масса ее меньше двух, но больше одной массы Солнца, то в конце

ЛИТЕРАТУРА

- Burbidge G., Hoyle F., The Problem of the Quasi-Stellar Objects, Scientific American, 215, 40, Dec. 1966.
- Chiu H., Gravitational Collapse, Physics Today, 17, 21, May 1964.
- Greenstein J. L., Quasi-Stellar Radio Sources, Scientific American, 209, 54, Dec. 1963.
- Hoyle F., Galaxies, Nuclei, and Quasars, Harper & Row, New York, 1965 (русский перевод: Хойл Ф., Галактики, ядра и квазары, изд-во «Мир», М., 1968).
- Robinson I. et al., eds., Quasi-Stellar Sources and Gravitational Collapse, University of Chicago Press, Chicago, 1964.
- Terrell J., Quasi-Stellar Objects: Possible Local Origin, Science, 154, 1281 (Dec. 9, 1966).
- Каплан С. А., Физика звезд, 2-е изд., изд-во «Наука», М., 1970.
- Агекян Т. А., Звезды, галактики, Метагалактика, 2-е изд., изд-во «Наука», М., 1970.

коллапса образуется нейтронная звезда — нечто вроде атомного «ядра», состоящего из одних нейтронов. Размер его порядка десяти километров. И, наконец, звезды малой массы коллапсируют (здесь уже предпочитают говорить — просто сжимаются) к состоянию звезды белого карлика — объекта размером с нашу Землю, но массой лишь немногим меньшей массы Солнца.

При коллапсе к состоянию нейтронной звезды или к чему-то неизвестному (при большой массе) выделяется энергия, сравнимая с энергией покоя всей звезды (по соотношению Эйнштейна $E=mc^2$) — это самый мощный из известных источников энергии. Правда, она выделяется очень быстро, почти мгновенно.

Гипотеза о гравитационном коллапсе как источнике энергии квазаров сейчас не пользуется популярностью. Другой хорошей гипотезы, правда, все равно нет.

Но нейтронные звезды неожиданно «всплыли» на поверхность в связи с новейшими объектами астрофизики — пульсарами. Открытые в 1968 г. пульсары по своей популярности оставили далеко позади квазары. К ним в еще большей мере применима фраза, сказанная автором в начале этого раздела.

Писать о пульсарах так, как пишет автор о квазарах, не позволяют рамки этих по идее кратких примечаний. Поэтому совсем коротко: пульсары — это нейтронные звезды, вращающиеся с периодом от 0,03 сек до 3,7 сек, излучающие огромное для их небольших размеров (10 км) количество энергии как в радиодиапазоне (у всех пульсаров), так и в оптическом и рентгеновском диапазонах (по крайней мере у одного пульсара). Самое главное — во всех диапазонах энергия излучается в виде очень коротких (10^{-2} сек) импульсов, повторяющихся с очень правильной периодичностью (определяемой вращением). Как и почему излучаются эти импульсы — никто не знает. *Прим. ред.*

ИЗМЕРЕНИЯ ВОЗРАСТА ВСЕЛЕННОЙ

Все составные части Вселенной — от галактик до атомов — должны подходить друг к другу, как отдельные кусочки мозаики. Мозаика, которую представляет собой Вселенная, имеет много измерений. Измерение во времени помогает нам сложить отдельные фрагменты в правильной последовательности.

Когда мы хотим преодолеть большое расстояние, мы садимся в машину или в самолет. Мы замечаем свое движение по тем деревьям или облакам, которые проносятся мимо нас. Сравните эти осязаемые предметы с неосязаемым временем. Мы бессильны контролировать его течение. Никакой орган чувств человека не может непосредственно отмечать течение времени, хотя смены дня и ночи и времен года представляют собой естественные часы, дающие приближенное представление о проходящем времени. Лишь когда мы придумываем какое-нибудь приспособление, которое переводит течение времени в движение часовых стрелок или песка в песочных часах, можно надежно и точно ощутить его ход. Из всех основных физических параметров — расстояния, массы, времени, температуры, силы тока — время самое неустойчивое и ускользающее.

Мы не можем себе позволить игнорировать время, так как оно неразрывно вплетено в ткань Вселенной, которую мы пытаемся познать. Хорошая шкала времени необходима для понимания того, что прошло, и того, к чему мы идем.

Как измеряют время? Конечно, с помощью часов. Но в астрономии нам нужно измерять возраст, т. е. *накопленное* время. Обычные часы показывают лишь ход времени. Их показания повторяются через 12 или 24 часа. Фиксируемая история человечества насчитывает несколько тысяч лет, но для песочных часов космологии это меньше, чем песчинка. Нам нужно найти такой счетчик времени, который отсчитывал бы время в миллиардах лет. В таблице на стр. 57 приводится классификация нескольких важнейших шкал времени: во-первых, в соответствии

с историческими отрезками, к которым они относятся; во-вторых, в соответствии с тем, требуют ли они простого подсчета (как кольца деревьев) или выявления эффекта накопления (как в случае распада радиоактивных изотопов). Ключевым предположением, вложенным во все шкалы времени, которые относят нас к доземным и досолнечным временам, является допущение о том, что все физические процессы остались неизменными. При измерении возраста радиоактивных изотопов, например, мы должны предположить, что падающий на Землю поток космических лучей остается неизменным и превращение элементов идет с постоянной скоростью. Измеряя красное смещение далеких галактик, мы анализируем свет, возникший много миллиардов лет назад. Если электростатические силы, притягивающие электроны к ядрам, были в то время слабее, то наша шкала времени, опирающаяся на красное смещение, была бы неправильной. Поэтому, чтобы правильно хранить время, нам жизненно необходимо построить много часов, основанных на различных физических процессах. Чем лучше согласуются эти переплетающиеся между собой и накладывающиеся друг на друга шкалы времени, тем большую уверенность мы получаем в оценках возраста.

Иерархия во времени помогает построить эти часы: человек и его творения моложе Земли, Земля моложе солнечной системы, солнечная система моложе Млечного Пути, а Млечный Путь моложе Вселенной в целом. Правда, это только предположение, но весьма достоверное. Очень мало вероятно, например, что Земля «родилась» в системе более старой звезды и лишь впоследствии была захвачена Солнцем. Любая построенная нами шкала времени или любая *система* переплетающихся шкал времени должна подтверждать приведенную выше последовательность «рождения».

Считать кольца деревьев для измерения возраста Солнца просто смешно, но те же кольца полезны для археологии и помогают привязать не столь отдаленные события к принятым за основу. Все начала отсчета времени представляют собой сходные непрерывные накопленные регистрации выбранных физических процессов. Эти процессы используются для калибровки прошедшего времени, которое в противном случае не поддавалось бы измерению. Для иллюстрации приведем следующий пример. Ученые вычисляют скорость распада радиоактивных

НЕКОТОРЫЕ ВИДЫ «ЧАСОВ», ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ДАТИРОВКИ ПРОШЛОГО

	Фиксированная история (0—4000 лет)	История Земли (0—4,5 миллиарда лет)	История солнечной системы (0—5 миллиардов лет)	История Вселенной (0—15 миллиардов лет)
<i>Вычислительные схемы</i>	Календари (вращение Земли вокруг оси и обращение вокруг Солнца). Кольца деревьев Смежные пласты глинистых отложений (слои осадочных пород) Затмения и другие регулярные астрономические явления	Климатические циклы (возрасты льда) Смежные пласты глинистых отложений	Нет	Нет
<i>Накопительные физические процессы</i>	Распад радиоактивных изотопов	Распад радиоактивных изотопов Геологические процессы: выветривание и эрозия, осаждение, образование складок коры, тектонические движения Биологическая эволюция Накопление соли в океане Трансгрессия морей Изменения магнитного поля Земли	Теория эволюции звезд Распад радиоактивных изотопов в метеоритах	Космогоническая теория происхождения химических элементов Эволюция галактик Время полета (красное смещение)

изотопов изо дня в день с помощью обычных точных часов. Если в полдень в понедельник в образце имелось 100 г изотопа X , а в полдень в пятницу осталось лишь 50 г, то говорят, что период полураспада изотопа X составляет 4 дня. Полураспад изотопов, длящийся миллионы лет, также может калиброваться с помощью часов, основанных на надежных значениях солнечных суток или солнечного года. Аналогично этому можно калибровать накопление осадочных пород, образовавших горную породу, увеличение лунной орбиты и скорость света. Калибровка во времени очень напоминает калибровку расстояний в астрономии, где все шкалы основаны на земной триангуляции.

Человек отсчитывает дни, отмечая прохождение по небу Солнца и звезд. Он заносит эти дни на страницы календаря, объединяя их в годы и века. Пока такая регистрация ведется повседневно, существует непрерывная линия счета времени. Беда заключается в том, что за 6 с лишним тысяч лет исторического времени различные цивилизации пользовались разными календарями. Хотя продолжительность года в календаре майя, египетском и современном примерно одинакова, почти все остальное не совпадает. Однако истинная трудность состоит не в том, сколько дней включать в неделю, — это дело вкуса, — а в том, как сопоставить древние календари с современными. К какому, например, году древнего китайского календаря относится день, когда Вы читаете эту книгу? К счастью, многие неопределенные даты можно привязать к моментам затмений и других астрономических явлений, видимых во всем мире. Отмечая, сколько раз Земля обернулась вокруг Солнца, мы можем получить удовлетворительную, хотя и приближенную меру для счета времени. Даже эта единица измерения времени меняется: нет двух лет одинаковой продолжительности. В наши дни мы исправляем эти капризы природы с помощью атомных часов, но для прошлого нам остается только признать длину каждого из 6000 протекших лет постоянной.

В течение этого периода многие геологические и астрономические часы отмерили столько времени, что его достаточно по крайней мере для того, чтобы мы могли судить о быстроте движения стрелок этих часов в единицах современных лет. Затопленные руины римской эпохи известного возраста позволяют нам применить шкалу времени к наступлению моря в этой ча-

сти Земли. Накопление ила в устьях рек дает нам ключ к определению времени образования геологической формации.

По мере того как мы начинаем интересоваться периодами времени, исчисляемыми не днями, а веками и миллиардами лет, на основной единице отсчета — солнечных сутках — строится все больше других опорных единиц времени.

Когда геологи стали измерять толщину слоев и сопоставлять ее со сложным комплексом осадочных пород, покрывающих Землю, они сразу же поняли, что возраст Земли достигает многих миллионов лет, а не нескольких тысяч, как в еврейском календаре, и даже не двух миллионов лет, как считали древние халдеи в Месопотамии. К 1900 г. ученые пришли к мнению, что даже одного миллиарда лет может оказаться недостаточным, чтобы Земля охладилась, отвердела и пришла в современное состояние. Кора Земли представляет собой сложнейший комплекс перемещенных горных пород, в тех или иных местах открывающий завесу истории. Слой, лежащий под этими породами, безусловно более древний (геологическая иерархия времени), но он не дает абсолютно никакого ключа к датировке отдаленного прошлого.

К счастью для хранителей времени, Анри Беккерель в 1896 г. открыл явление радиоактивности. Это был ключ для внесения порядка в беспорядок. Радиоактивный распад, при котором неустойчивые атомные ядра самопроизвольно превращаются в новые ядра, происходит независимо от температуры, давления и химического окружения. Геологи быстро оценили этот дар физиков. Еще в 1913 г. А. Холмс опубликовал геологическую временную шкалу, основанную на измерении естественной радиоактивности. В наши дни метод радиоактивной датировки позволяет определить возраст человеческой деятельности в несколько тысяч лет, а также оценить возраст самых древних пород, найденных геологами. Так, возраст древней гранитной плиты, исследованной в Советском Союзе на Кольском полуострове (вблизи Мурманска), насчитывает 3,4 миллиарда лет. Измеряя в течение нескольких часов скорость распада урана, геологи строят часы, которые отсчитывают время до того момента, когда горные породы впервые окончательно отвердели на клочковатой поверхности расплавленной Земли, но, как мы увидим ниже, не дальше этой геологической стадии.

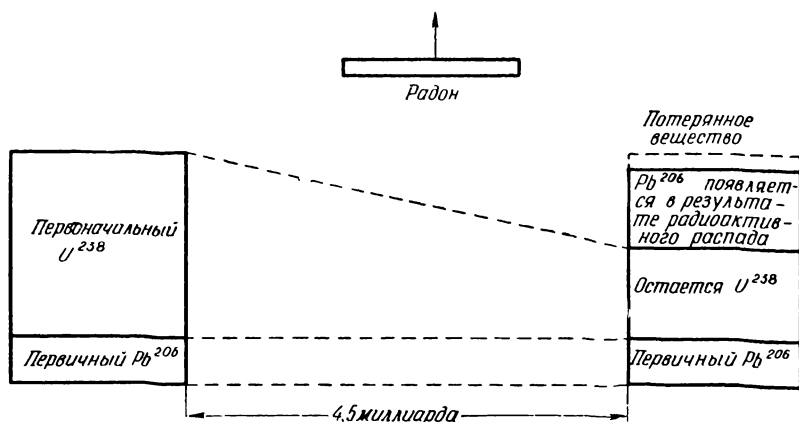


Рис. 9. Через 4,5 миллиарда лет половина урана-238 (U^{238}) в породе превратится в радиоактивный свинец-206 (Pb^{206}) и радон.

По всем своим качествам радиоактивные часы — самый подходящий инструмент для геохронологии. Единственным постоянным свойством радиоактивных изотопов является их период полураспада. Так, уран-238 имеет период полураспада в 4,5 миллиарда лет. Значит, от каждого грамма урана через 4,5 миллиарда лет после его отверждения в горных породах должно остаться 0,5 г, а через 9 миллиардов лет — 0,25 г. На практике, однако, мы не можем сказать, сколько урана попало в данную породу. В образце породы мы на самом деле измеряем оставшееся количество урана-238 и количество свинца-206: последний представляет собой стабильный продукт распада урана-238. Если свинец-206 присутствовал в породе в момент отверждения, то временная шкала будет искажена. Точность ее будет нарушена также и в том случае, если часть урана и свинца диффундировала из породы или была унесена в виде химических соединений на протяжении геологических эр. Таким образом, радиоактивные часы, стрелки которых движутся с постоянной скоростью, могут показывать неправильное время из-за того, что эти стрелки будут двигаться по искаженному циферблату. Чтобы проиллюстрировать, с какой проблемой здесь приходится встречаться, рассмотрим снова превращение

урана-238 в свинец. На одной из стадий распада радиоактивных изотопов, конечным продуктом которого является свинец-206, образуется радиоактивный газ радон. Поскольку это газ, он может диффундировать сквозь породу до того, как превратится в свинец-206; в результате этого возраст будет ошибочно малым. Первые расчеты возраста Земли на основе метода радиоактивной датировки дали число, близкое к двум миллиардам лет, что меньше половины значения, принятого в настоящее время. Частично ошибка вкралась из-за диффузии газа радона. Другими источниками ошибок были естественные катастрофы, происходившие на протяжении геологических эр. Расплавленная порода испускает радон и может отделить родительский радиоактивный изотоп (U^{238}) от его стабильного потомка (Pb^{206}). Повторное расплавление и метаморфизм пород сильно искажают измерения возраста.

Одним из краеугольных камней методов науки является измерение одних и тех же параметров разными способами. Если ответы не совпадают, то ученые не знают покоя, пока не обнаружат источник ошибки. К нашему удовлетворению, существует много других радиоактивных изотопов с длительным периодом полураспада, встречающихся в естественных условиях в земных породах, которые можно использовать для проверки друг друга. Ниже приводятся некоторые из самых важных.

Родительские радиоактивные изотопы	Стабильные потомки	Период полураспада (в миллиардах лет)	Используемые минералы и горные породы
U^{238}	Pb^{206}	4,50	Уранинит, монацит, циркон, черный сланец
U^{235}	Pb^{207}	0,71	
Th^{232}	Pb^{208}	14,10	
Rb^{87}	Sr^{87}	47,0	Мусковит, биотит, К-полевошпат, лепидолит, глауконит
K^{40}	Ar^{40}	1,3.	
	Ca^{40}		Мусковит, биотит, глауконит

Исторически сложилось так, что самыми важными для определения возрастов стали три радиоактивных изотопа, возглав-

ляющих таблицу. Это те изотопы, с которыми работали пионеры геохронологии Холмс и Ниер. Эти изотопы часто и притом совместно встречаются в горных породах, но имеют разный период полураспада, что позволяет в известной степени осуществлять взаимный контроль. Например, кусок гранита может содержать все три родительских элемента, все три стабильных дочерних изотопа плюс изначальный свинец-204, который в неизменном виде находился в граните с момента его отвердения. Три радиогенных изотопа свинца (206, 207 и 208) также могли присутствовать в момент отвердения в граните вместе с изначальным свинцом-204, но их концентрация увеличивалась по мере распада родительских изотопов. Тщательное сравнение количества изотопов свинца, урана и тория позволяет ученым правильно установить первоначальное содержание изотопов свинца-206, 207 и 208.

Методы датировки с помощью рубидия-87 и калия-40 позволяют еще раз проверить и оценить поправки, которые следует ввести в связи с потерями радона урано—ториево—свинцовыми часами. Другие радиоактивные изотопы, например рений-187 и лютеций-176, дают возможность осуществить дополнительные вычисления, которые помогают более правильно расставить цифры на циферблате этих часов. Такое согласование шкал времени жизненно необходимо для установления возраста Вселенной в целом.

Радиоактивная датировка земных горных пород позволяет нам углубиться во времени примерно на 3,4 миллиарда лет назад. Но это не полный возраст Земли, а только возраст тех отвердевших горных пород, которые смогли сохранить радиоизотопные часы. Земля могла уже существовать несколько миллиардов лет в расплавленном состоянии до того, как началось отвердение. Как нам подобраться к этому периоду истории Земли? Прежде всего можно вычислить, сколько времени потребуется для того, чтобы расплавленный сфероид, состоящий из первичных земных веществ, охладился и на нем образовалась кора. Производя такие вычисления, следует иметь в виду, что кора возникала и многократно расплавлялась до тех пор, пока Земля не потеряла достаточно тепла для образования устойчивой коры. Более того, в этих расчетах должно быть учтено колоссальное количество тепла, выделяющееся при радиоактивном распаде калия-40, одного из компонентов наших ча-

сов и сравнительно широко распространенного изотопа. Когда вычислительная машина выдаст, наконец, ответы, то окажется, что к трем-четырем миллиардам лет, найденным по твердым горным породам, следует прибавить по крайней мере еще один миллиард лет, и таким образом, возраст Земли достигает примерно 4,5 миллиарда лет.

Вычисления с учетом охлаждения подтверждаются вторым видом часов. Если предположить, что метеориты, ежедневно падающие на Землю из космического пространства, возникли при том же катаклизме, при котором появилась на свет Земля, и что, будучи очень маленькими, они мгновенно затвердели, то их возраст должен равняться общему возрасту Земли. Были проведены радиоактивные измерения, и возраст метеоритов действительно оказался около 4,5 миллиарда лет. По-видимому, метеориты — старейшие куски вещества, доступного нам.

Солнце, Млечный Путь и Вселенная должны быть, конечно, старше 4,5 миллиарда лет. Не можем ли мы, опираясь на земную хронологию, построить часы, которые помогут нам датировать историю недостижимых астрономических объектов и исследовать их методом радиоактивности?

Земная хронология имеет дело с образцами породы, которые можно подвергнуть различным анализам в лаборатории. В противовес этому возраст Солнца можно установить, изучая издали испускаемое им излучение. Спектральные линии не обладают свойством изменяться с возрастом, подобно красному смещению, вызываемому скоростью удаления. Мы ищем какое-либо свойство Солнца, меняющееся известным образом с возрастом, которое могло бы быть обнаружено на расстоянии 150 миллионов километров от него. Астрономы, вооруженные спектроскопами, действуют в этом направлении уже больше ста лет (Фраунгофер впервые наблюдал линии поглощения солнечного спектра в 1814 г.); трудно найти такое свойство Солнца, которое измеримым образом менялось бы на протяжении этого времени и при этом способно было бы отмечать периоды более 5 миллиардов лет. Отношение этих времен превышает 10 миллионов. Иными словами, любое накапливающееся свойство Солнца нами, по-видимому, не было бы замечено.

Из затруднения нас выводит понимание того, что история Солнца может быть восстановлена на основе изучения других

звезд. Солнце является типичной звездой, принадлежащей, как говорят астрономы, к главной последовательности. Его состав, яркость и размеры совпадают с этими параметрами тысяч других звезд, детально нами изученных. Таким образом, с помощью телескопов мы можем видеть, как выглядело бы Солнце на различных стадиях своей эволюции и какое будущее его ожидает. Принятая теория звездной эволюции, детально рассматриваемая в гл. 5, предполагает существование определенного периода «сгорания», во время которого звезда потребляет запас термоядерного топлива, полученный ею в момент образования. Зная скорость «сгорания», количество энергии на единицу массы топлива и общее количество использованного топлива, астрономы могут вычислить время, за которое звезда пройдет свой путь от юности к зрелости и смерти. Это напоминает задачу о том, какой путь пройдет автомашина, если известно первоначальное количество бензина, скорость его сгорания и оставшееся количество бензина.

Согласно теории звездной эволюции, нашему Солнцу около 5 миллиардов лет, и ожидается, что просуществует оно еще столько же. Как имеют обыкновение подчеркивать астрономы, Солнце — обычная, рядовая звезда среднего возраста.

До сих пор в нашей хронологии Вселенной противоречий не встречается: возраст Земли 4,5 миллиарда лет, а Солнце зажглось, по-видимому, 5 миллиардов лет назад. Теория также утверждает, что многие видимые на небе звезды приближаются к возрасту в 10 миллиардов лет. Можем ли мы найти доказательства или опровержения этого в космологии? Можем ли мы установить возраст Вселенной?

Обратимся прежде всего к нашему старому знакомому. Красное смещение галактик почти полностью объясняется эффектом Допплера, возникающим вследствие их разбегания. Если предположить, что все эти галактики разбегаются от точки своего образования, скажем от места всеразрушающего взрыва, то удастся оценить их возраст по времени полета *, т. е. зная рас-

* Еще раз напоминаем: не время «полета галактики», а время расширения пространства от состояния большой плотности до современного состояния. Это и есть время, за которое первоначально малое расстояние между тем веществом, которое составило нашу Галактику, и тем веществом, которое вошло в измеряемую галактику, увеличилось до настоящего значения. — *Прим. ред.*

стояние галактики и скорость ее удаления, можно представить возраст галактики выражением

$$\text{В о з р а с т} = \frac{\text{Скорость}}{\text{Расстояние}} \cdot$$

При этом, конечно, предполагается, что скорость удаления не менялась в течение всего полета галактики от места взрыва. Пионер измерения скоростей и расстояний галактик Эдвин Хаббл обобщил свои открытия предположением, что отношение скорости к расстоянию для всех галактик постоянно. Это предположение также фиксирует возраст Вселенной, поскольку константа Хаббла ($\frac{\text{Скорость}}{\text{Расстояние}}$) и является искомой величиной. Многие последующие измерения константы Хаббла показали, что возраст Вселенной колеблется между семью и двадцатью миллиардами лет. Этот результат согласуется с теорией звездной эволюции и с радиоактивными измерениями возраста метеоритов, но заключен еще в довольно широких пределах. Вычисление времени движения путем деления расстояния на скорость кажется интуитивно правильным. Мы прибегаем к нему при наших повседневных передвижениях. Значительно менее очевидные часы для Вселенной основываются на статистике распределения галактик. Предположив, что все действительно началось с Большого Взрыва, мы можем ожидать совершенно беспорядочного распределения по небу галактик, являю-

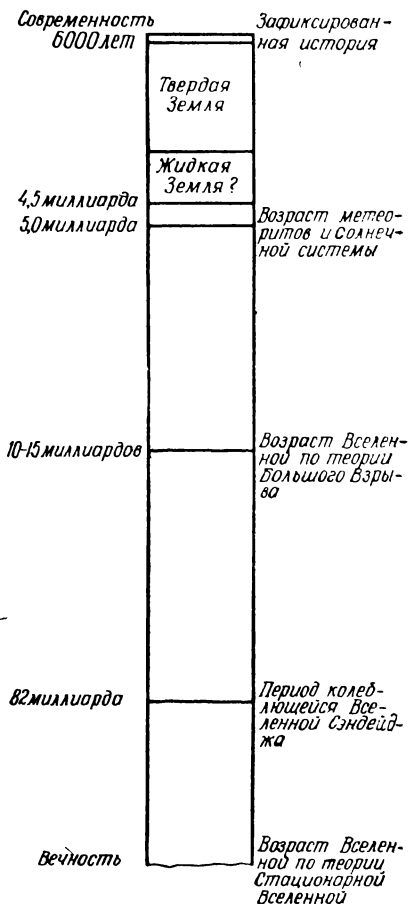


Рис. 10. Схема истории Вселенной.

щихся продуктами этого взрыва, но только в том случае, если Вселенная еще сравнительно молода. У старой Вселенной, по-видимому, многие неправильности должны быть сглажены временем. Это все равно, что бросить в воду камень и сравнить первоначальный всплеск с правильными кругами, расходящимися во все стороны. Статистика и законы физики могут описать этот переход от беспорядка к порядку, а также связать этот процесс со шкалой времени. К сожалению, этот метод не очень точен, потому что он только говорит нам, что Вселенная значительно старше 0,1 миллиарда лет и значительно моложе 100 миллиардов лет*. Хорошо еще, что этот результат не противоречит другим независимым оценкам.

И метод оценки времени полета и статистические часы предполагают правильность теории Большого Взрыва. Но допустим, что справедлива теория Стационарной Вселенной. Тогда возраст Вселенной должен быть бесконечным, и наблюдения звезд показали бы, что встречаются объекты любого возраста от новорожденных до умирающих от старости. Так оно и есть на самом деле: некоторые звезды кажутся очень молодыми — их возраст всего несколько миллионов лет, другие имеют за плечами по меньшей мере 10 миллиардов лет. Но эти наблюдения говорят нам о том, что возраст Вселенной бесконечен, не больше, чем различный возраст встречающихся на улице людей свидетельствует о вечности человеческого рода. Продолжительность жизни звезд и продолжительность жизни человека не могут сказать нам, сколько поколений народилось и сошло в могилу за всю историю Вселенной, поскольку не существует методов измерения бесконечности с помощью конечных мерок и часов.

* Сейчас эти пределы уже — считается, что возраст Вселенной где-то между 10 и 15 млрд. лет. Правда, исследования красного смещения линий поглощения квазаров возродили было старую идею Эйнштейна о включении в уравнение о гравитации космологического члена. Эйнштейн хотел таким образом сделать ее стационарной. В наше время удовлетворились тем, что продлили жизнь Вселенной до 70 млрд. лет. Впрочем, аргументы в пользу такой переделки законов всемирного тяготения и шкалы времени очень неопределенны, и большинство астрономов остаются на старых позициях, предполагая, что красное смещение линий поглощения квазаров будет объяснено без такой коренной ломки наших представлений. — *Прим. ред.*

Если теория Стационарной Вселенной будет впоследствии подкреплена наблюдениями, то нам придется признать правильность ее концепции о бесконечности нынешней Вселенной во времени и пространстве. Наши современные измерения возраста не подтверждают и не отрицают такой Вселенной. В то же время теория Большого Взрыва согласуется с найденным нами возрастом Земли и звезд. Больше того, во многих умах это совпадение возрастов равносильно подтверждению правильности всей теории. Мыслима также возможность существования колеблющейся Вселенной с концентрацией вещества, эквивалентной серии больших взрывов. Астроном Аллан Сэндсидж, сторонник колеблющейся Вселенной, считает, что большие взрывы происходят каждые 82 миллиарда лет и что в настоящее время мы проникли в фазу расширения примерно на 10 миллиардов лет.

Итак, возраст Вселенной, по-видимому, составляет 10—20 миллиардов лет. Эта величина согласуется со всеми возрастами, которые мы можем измерить непосредственно и с помощью теории Большого Взрыва и ее разновидностей.

Время — самый неуловимый фактор нашего существования. Трудно осознать срок в тысячу лет, а еще труднее — в десять миллиардов лет. Чем дальше мы углубляемся в прошлое, тем труднее построить для этой эпохи надежные часы. История измерения времени доставляет нам все новые и новые заботы: древность человеческого рода, возраст Земли и возраст Вселенной заметно возрастают по мере замены одних часов другими. Большинство людей нынешнего поколения помнят то время, когда возраст Земли считался равным лишь двум миллиардам лет. Сегодня полагают, что сама жизнь на Земле старше, а возраст Земли увеличился до 4,5 миллиарда лет. Современные геологические, астрономические и физические часы дают примерно одинаковые показания, что представляется весьма обнадеживающим. Часы непрерывно совершенствуются.

ПРОВЕРКА ТЕОРИИ ЭЙНШТЕЙНА

Новые физические теории шагают по трупам тех теорий, которые они сменяют. К тому времени, когда в 1905 г. неизвестный мелкий чиновник швейцарского патентного бюро Альберт Эйнштейн опубликовал свою специальную теорию относительности, теории распространения света в пространстве уже был нанесен смертельный удар американскими учеными Альбертом Майкельсоном и Эдуардом Морли. Они экспериментально показали, — а это единственный убедительный способ, — что скорость света не зависит от движения его источника. Скончавшаяся модель была моделью светоносного эфира*.

Наука XIX в. считала светоносный эфир невидимой всепроникающей субстанцией, переносящей свет и другие электромагнитные волны точно так же, как желе передает механические вибрации. Для ученых XIX в. отвратительна была сама мысль о том, что что-то (световые волны) может проходить через ничто (пустое пространство). Для водяных волн требуется вода, для звуковых — воздух, а поэтому для световых волн нужен эфир. Звезды и планеты величественно плывут сквозь это странное вещество, которое, по-видимому, не оказывает никакого сопротивления их движению. Эфир был необходим для тех, кому требовались механические аналоги для процессов природы, и одновременно сбивал с толку тех, кто был не в состоянии понять, как может вакуум содержать твердое вещество, достаточно жесткое, чтобы передавать поперечные световые волны подобно тому, как водяные волны передают движение вверх-вниз. Разрешение этого конфликта увело ученых далеко в сторону от комфортабельной науки Ньютона, в пределах которой большинство физических явлений связано с повседневными событиями, например с падением яблока или волнами на воде.

* Слово *эфир* было заимствовано у Аристотеля, у которого оно обозначало пятый из элементов, составлявших его «космос».

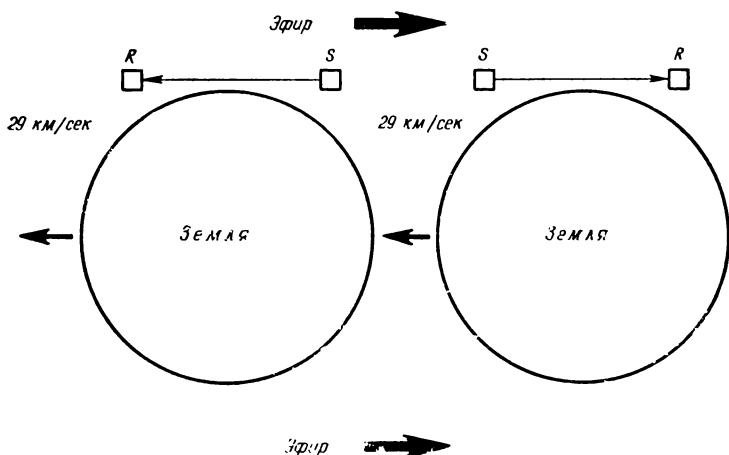


Рис. 11. Опыт Майкельсона — Морли показал, что скорость света между источником S и приемником R не зависит от направления движения эфира. Этот опыт нанес сокрушительный удар гипотезе эфира.

Эксперимент Майкельсона — Морли, более известный науке как эксперимент с отрицательным результатом, должен был показать, что скорость света, измеренная земным наблюдателем, уменьшается, если поток света направлен навстречу движению Земли, и увеличивается, если направление света совпадает с движением Земли. Ситуация эксперимента напоминала ту, в которой оказывается человек, желающий с берега измерить скорость лодки, движущейся вверх или вниз по течению реки. Фактически впервые Майкельсон пытался поставить этот эксперимент один в 1881 г., когда он занимался в лаборатории Германа фон Гельмгольца в Берлине. Эксперимент не показал никаких изменений скорости. В 1887 г. Майкельсон и Морли построили лучший инструмент (интерферометр) в школе прикладной науки Кейса в Кливленде. Результат оставался отрицательным: независимо от того, в каком направлении проходил свет по «текущему эфиру», его скорость оставалась для земного наблюдателя неизменной или почти неизменной. Были отмечены весьма незначительные отклонения, но они оказались гораздо меньше тех, которые можно было ожидать для Земли, движущейся сквозь эфир по своей орбите вокруг Солнца со скоростью 29 км/сек. Морли и его сотрудник Дейтон

Миллер между 1902 и 1904 гг. повторили несколько раз эксперимент 1887 г. с аналогичными результатами.

Миллер, в частности, не мог принять ни ответа, данного его аппаратом, ни концепции относительности, поддерживаемой его экспериментами. Он продолжал искать эфир и в 1921 г. заявил, что нашел доказательства движения эфира при измерениях скорости света. Однако его работа была признана необоснованной. Ученые продолжают повторять эксперимент Майкельсона — Морли — в самое последнее время с помощью лазеров — и продолжают получать те же отрицательные результаты. Повидимому, в пределах ошибок эксперимента скорость света не зависит от движения источника света. Модель эфира скончалась на стыке веков, но некоторые «осквернители могил» продолжают свои попытки восстановить ее либо потому, что они не переваривают относительность, либо (что более интересно) потому, что результаты не были *полностью* отрицательными. В наши дни большинство ученых признают абсолютно отрицательный результат, и многие современные теории опираются на такую интерпретацию.

Эйнштейна не следует ни ругать, ни хвалить за идею относительности. Она носилась в воздухе по крайней мере целое столетие. Пуанкаре сформулировал теорию относительности в 1899 г. и расширил ее в 1904 г. Он считал, что невозможно определить абсолютное движение физического тела, подразумевая под этим, что всякое движение относительно. И действительно, Пуанкаре и голландскому физiku Гендрику Лоренцу принадлежит настолько значительная часть специальной теории относительности, что некоторые ученые отказываются связывать с ней имя Эйнштейна. Вкладом Эйнштейна, внесенным им в 1905 г., была точная и обобщенная формулировка специальной теории относительности *. Затем он перешел к общей

* Автор все же недооценил роли А. Эйнштейна в создании специальной теории относительности. Действительно, и А. Пуанкаре, и Г. Лоренц много сделали для подготовки к формулированию основных положений специальной теории относительности, но Эйнштейн не просто дал «более точную и обобщенную формулировку». Он был первым кто *понял*, в чем здесь дело. Разумеется, это не означает, что, не будь Эйнштейна, никто бы не открыл этой теории. Вероятно, тот же Лоренц, физик с очень глубокой интуицией, скоро бы смог дать правильное толкование преобразованиям, носящим его имя. Но... Эйнштейн догадался раньше. — *Прим. ред.*

теории относительности, которую в основном построил собственными руками.

Специальная теория относительности имеет два постулата:

1. Законы физики идентичны во всех инерциальных (т. е. движущихся друг относительно друга с постоянной скоростью) системах координат.

2. Скорость света не зависит от движения его источника и одинакова во всех инерциальных системах координат.

Второй постулат представляет собой просто факт, установленный экспериментом Майкельсона — Морли. Первый постулат является широким обобщением опыта. Если, например, вы бросите на пол мяч в поезде, движущемся с постоянной скоростью, то он упадет по такой же прямой, которую вы наблюдаете, бросая мяч в своей квартире. Но посмотрим, что происходит вне вашей собственной системы координат. Если бы вы увидели этот падающий мяч, заглядывая в окно поезда со станционной платформы, то вам бы показалось, что он падает не по прямой линии. Действительно, специальная теория относительности предсказывает, что этот мяч не только падает по наклонной линии, но также оказывается тяжелее, чем в неподвижном поезде. Мяч должен также казаться сплюснутым в направлении движения поезда. Более того, наблюдателю на платформе будет казаться, что часы в этом движущемся поезде идут медленнее. Эти предсказания, сделанные на основе обоих постулатов специальной теории относительности, совсем не являются частью нашего повседневного опыта, полученного при движениях с небольшими скоростями; они проявляются лишь при скоростях, близких к скорости света. Ни один известный инструмент не в состоянии измерить совершенно незначительное увеличение массы мяча в поезде, мчащемся со скоростью 100 км/час, так что специальная теория относительности *сколько-нибудь заметно* не противоречит нашему повседневному опыту в *обычных* ситуациях.

Ниже мы опишем некоторые из самых интересных (и наиболее непонятных) разделов специальной теории относительности. В частности, будут выделены *измерения* отмеченных раньше неожиданных эффектов, потому что только измерения могут подтвердить или опровергнуть постулаты специальной теории относительности и построенные на них модели мира.

После этого мы коснемся общей теории относительности, которая кажется еще больше противоречащей здравому смыслу.

В 1895 г. ученые-физики были полны самодовольства. Они считали, что физика у них полностью под контролем. Правда, как заноза в боку торчала еще проблема эфира, но не было сомнений, что и она будет разрешена по мере неуклонного движения вперед тарана науки. Мысль о том, что масса может увеличиваться со скоростью, была бы в то время так же осмеяна, как в наши дни смеются над «летающими тарелками». Однако уже в 1905 г., спустя всего лишь десять лет, была сформулирована специальная теория относительности, утверждающая, что масса объекта стремится к бесконечно большой величине по мере приближения скорости этого объекта к скорости света. И еще больше повергли в беспорядок этот уютный мир провозглашенная Максом Планком квантовая теория и открытие Анри Беккерелем радиоактивности. Монолитный храм ньютоновской науки трещал и был на грани полного разрушения.

Ученые немедленно стали искать что-либо движущееся со скоростью, близкой к скорости света, с тем чтобы измерить массу этого объекта и посмотреть, соответствуют ли действительности предсказания специальной теории относительности. Специальная теория относительности предсказывает, что масса меняется со скоростью следующим образом:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}},$$

где m — масса объекта, движущегося со скоростью v , измеренная в какой-либо системе координат, скажем в физической лаборатории, m_0 — масса того же объекта в состоянии покоя, c — скорость света (300 000 км/сек). По мере приближения v к c значение m быстро приближается к бесконечности.

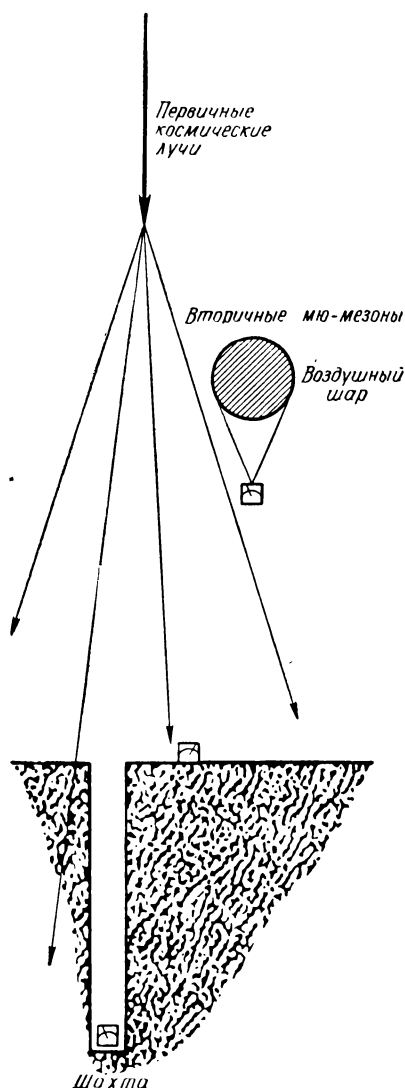
В данном случае мы сталкиваемся не с повседневной физической реальностью, поскольку наши органы чувств не в состоянии сами регистрировать движение, происходящее со скоростью, близкой к скорости света. Однако физик, дополнивший свои обычные органы чувств регистраторами атомных частиц, например счетчиком Гейгера, может ускорять протоны и электроны в ускорителях частиц до скоростей, при которых реля-

тивистский эффект может быть «замечен». Скажем, физик ускоряет движение электронов в длинной трубке с электрическими полями, из которой выкачан воздух. Специальная теория относительности предсказывает, что ускорять эти электроны будет все труднее по мере приближения их скорости к скорости света, поскольку масса электронов будет возрастать. Увеличение инерции электронов в таких ускорителях — хорошо известный факт. Независимо от величины прикладываемой силы разгонять электроны становится все труднее. При достижении 99% скорости света электрон ведет себя так, как будто масса его увеличилась в семь раз. Для физика, пытающегося их ускорить, это увеличение массы — явление реальное и весьма неприятное. Специальная теория относительности отчетливо подтверждается этим частным экспериментальным фактом.

Если заменить электрон космическим кораблем, проносящимся мимо Земли со скоростью, составляющей 0,99 с, то наблюдателю на Земле будет казаться, что космический корабль притягивается к нашей планете так, как будто его масса в семь раз больше действительной. Однако пилот космического корабля не заметит никакого изменения своей массы и массы корабля, но зато ему будет казаться, что масса Земли возросла в семь раз. Все зависит от того, где сидит наблюдатель. Все относительно.

Специальная теория относительности предсказывает также, что быстрые (т. е. движущиеся с большей скоростью) часы должны идти медленнее. Эта идея кажется абсолютно нелепой: ведь время течет невозмутимо, подобно могучему равномерному потоку. Ньютон говорил о времени: «Абсолютное, истинное и математическое время само по себе и по своей природе течет равномерно, не реагируя на внешние воздействия». Надежность времени была тем столпом, на котором он построил свою концепцию Вселенной. Однако теория относительности показала непостоянство течения времени, зависящего от скорости. Точная степень этого непостоянства выражается формулой:

$$t = \frac{t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}},$$



где t — время в движущейся системе координат, измеренное «неподвижным» наблюдателем, и t_0 — время в неподвижной системе координат.

Проверка этого предсказания специальной теории относительности потребовала известной изобретательности, поскольку никто не знал, как заставить обычные часы двигаться со скоростью, близкой к скорости света. К счастью, природа создала естественные часы: нестабильные частицы, распадающиеся с периодом полураспада (t_0), который можно точно измерить в лаборатории. Этот период полураспада должен быть длиннее (t) у частиц, движущихся с почти световой скоростью.

Частицей, призванной сыграть роль часов, оказался мю-

Рис. 12. Задержка времени, предсказанная специальной теорией относительности, подтверждается мю-мезонами, которые распадаются во время полета к Земле от места своего возникновения в верхних слоях атмосферы. Детекторы, установленные на воздушных шарах, на поверхности Земли и в шахтах, отмечают, что время существования мю-мезонов «растягивается» из-за их высокой скорости, если только наблюдение ведет неподвижный наблюдатель.

мезон, сокращенно «мюон», — элементарная частица, самопроизвольно распадающаяся на другие частицы, со средней продолжительностью жизни примерно 2,2 миллионной доли секунды. Вместо того чтобы искусственно создавать мюоны и затем пытаться ускорять эти эфемерные частицы до высоких скоростей, прежде чем они распадутся, воспользовались их естественным источником. Космические лучи, бомбардируя земную атмосферу, сталкиваются с атомами верхних слоев атмосферы и порождают поток мюонов. По мере приближения к Земле число мюонов уменьшается с глубиной проникновения в атмосферу, так как все больше и больше этих частиц распадается за время полета. Ученые регистрируют количество мюонов на разных высотах, поднимая аппаратуру на воздушных шарах, опуская ее в шахты, а также в лаборатории на поверхности Земли. Результаты показывают, что мюоны, обладающие высокой скоростью, распадаются медленнее, чем можно было бы ожидать по продолжительности жизни, измеренной для стационарных мезонов, созданных в земных лабораториях. При этом увеличение продолжительности жизни примерно соответствует предсказываемому специальной теорией относительности. «Растягивание» времени при релятивистских скоростях — экспериментально установленный факт. Снова подтверждается специальная теория относительности. И опять экспериментальная ситуация далека от повседневного опыта; другими словами, мы не могли бы обнаружить каких-либо изменений на самолетах и поездах.

В воскресных приложениях газет писалось, что будущие астронавты, возвращающиеся из путешествия на Альфу Центавра с большой скоростью, постареют меньше, чем их современники, оставшиеся на Земле. Этот трюк обмана времени называется парадоксом близнецов. На первый взгляд логика кажется вполне здравой: часы у одного из близнецов, мчащегося в космическом корабле, будут идти безусловно значительно медленнее, чем такие же часы, оставленные на Земле у его брата. Кажется также разумным предположить, что биологический процесс, в данном случае старение, замедляется, так как дни будут «растянуты» релятивистским «растяжением» времени. Следовательно, скорость будет тем источником молодости для астронавтов, который даст им возможность слетать к звездам и вернуться на Землю за время их жизни. Возвратив-

шись на Землю все еще молодыми, они могут застать своих внуков в преклонных годах. Рассказ хорош для воскресных приложений, но здесь есть одна зацепка. Специальная теория относительности приложима только к тем периодам, когда космический корабль движется с постоянной скоростью по отношению к Земле. Для того чтобы совершить полет к далекой звезде и вернуться назад, нужно сначала разогнать корабль почти до скорости света, а затем замедлить его движение в месте назначения. То же произойдет и на обратном пути. Специальная теория относительности неприменима к полетам с возвращением, которые по необходимости должны включать изменения курса и другие ускорения *. Таким образом, ника-

* Тут некоторая неточность. Парадокс не в том, что у космонавта замедляется время. Оно действительно замедляется, и по крайней мере в принципе вернувшийся из звездного полета космонавт будет моложе оставшегося на Земле своего брата-близнеца. Правда, очень сомнительно, чтобы эту принципиальную возможность замедлить старение удалось осуществить на практике.

Сам парадокс близнецов изложен абзацем ниже — кто из братьев прав, утверждая, что он стареет медленнее. И разрешается парадокс тем, что система координат ракеты очень неинерциальна, в то время как система координат Земли хотя тоже неинерциальна, но ее ускорение невелико (относительно, конечно), и поэтому в первом приближении она может считаться инерциальной. Законы физики неидентичны в обеих системах координат, и космонавт-близнец будет прав и теоретически и практически (если ему удастся обнаружить разницу в возрасте), что он старел медленнее земного брата. Зато земной брат может сказать космонавту, что тот не имеет права считать себя все время находящимся в покое.

Вообще не следует слишком буквально понимать утверждение об отсутствии в теории относительности предпочтительной системы отсчета. Это верно, что законы физики идентичны во всех инерциальных системах отсчета. Но тем не менее есть и так сказать «привилегированные», инерциальные системы отсчета. Самой главной из них является, по-видимому, система отсчета, связанная с реликтовым фоном радиоизлучения. По существу это система отсчета, неподвижная относительно данной точки разлетающегося пространства. Она была такой 10 млрд. лет назад и осталась ею сейчас.

Можно измерить и нашу скорость относительно этой, пока самой привилегированной инерциальной системы отсчета. Если исключить скорость вращения Земли вокруг Солнца (~ 29 км/сек), скорость движения Солнца относительно звезд в его галактической окрестности (19 км/сек) и скорость вращения Галактики (250 км/сек), то останется 160 км/сек (по последним данным) — скорость движения Галактики относительно фона реликтового радиоизлучения. — *Прим. ред.*

кого парадокса нет. Если мы все же хотим, чтобы наши астронавты оставались молодыми во время межзвездных одиссеей, то, пожалуй, лучше будет установить на космическом корабле аппараты глубокого холода, а не надеяться на релятивистское растяжение времени.

Специальная теория относительности утверждает, кроме того, что нет предпочтительной системы координат. Летящий к звездам астронавт в парадоксе близнецов может с одинаковым успехом считать себя находящимся в состоянии покоя, а Землю — движущейся. С точки зрения этого астронавта, его земной близнец должен стареть медленнее, чем он.

Из специальной теории относительности следует, что два объекта не могут, по-видимому, столкнуться с относительной скоростью, превышающей скорость света. Относительная скорость определяется простым сложением. Если вы стоите у обочины дороги и хронометрируете движение двух автомашин, идущих на столкновение со скоростью 100 км/час каждая, то они, безусловно, столкнутся с относительной скоростью 200 км/час. Точно так же, если вы войдете в физическую лабораторию и направите друг на друга две электронные пушки, а затем откроете стрельбу электронами, движущимися со скоростью 0,9 с, то электроны по показаниям лабораторных приборов будут сталкиваться со скоростью 1,8 с. Или вы можете направить друг на друга зажженные электрические фонарики и быть уверенными в том, что фотоны встречаются с относительной скоростью 2 с. Наш здравый смысл не может противоречить таким наблюдениям*.

Специальная теория относительности дает нам формулу сложения скоростей, которая, к сожалению, неоднократно

* То, что написано выше, — это не результаты измерений, а именно представления «здравого смысла». Приборы никогда не покажут столкновения электронов со скоростью 1,8 с или встречу фотонов со скоростью 2 с.

Что касается «здравого смысла», то не лишне напомнить читателю, что во времена Ньютона здравый смысл решительно восставал против утверждения «всякое тело сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения, пока внешние силы не выведут его из этого состояния» — все останавливалось, а внешние силы не всегда удавалось разглядеть. Здравый смысл студентов-физиков, а в будущем уже, вероятно, и школьников не найдет ничего «преступного» в уравнении сложения скоростей. По этому поводу см. концовку этого раздела. — *Прим. ред.*

неправильно интерпретировалась. Это «преступное» уравнение выглядит так:

$$V = \frac{u + v}{1 + \frac{uv}{c^2}},$$

где V — скорость объекта в движущейся инерциальной системе координат, измеренная *в неподвижной инерциальной системе*, u — скорость объекта, измеренная приборами *в движущейся инерциальной системе координат*, v — скорость движущейся инерциальной системы координат, измеренная приборами *в неподвижной инерциальной системе*, c — скорость света. Неправильные интерпретации всегда возникают из-за того, что u и v принимаются за относительные скорости, в то время как на самом деле они измеряются различными приборами, находящимися в различных инерциальных системах координат.

Разве при изучении электронов, несущихся друг на друга с относительной скоростью $1,8\ c$, ученый измеряет в лаборатории какую-либо скорость, превышающую скорость света? Ответ будет отрицательным: каждый электрон движется со скоростью $0,9\ c$. Если мы свяжем систему координат с одним из движущихся электронов, увидит ли «сидящий» на этом электроне наблюдатель, что другой электрон летит на него со скоростью $1,8\ c$? Ответ опять будет отрицательным, что нанесет еще один удар по нашему здравому смыслу. Но поскольку никто еще не накопил здравого смысла, разъезжая на быстро летящих электронах, то здесь здравый смысл может оказаться несостоятельным. Формулу сложения скоростей можно применить и в этом случае, обозначив: V — скорость приближающегося электрона, измеренная наблюдателем, «сидящим» на первом электроне (не забудьте о переносе системы координат), u — скорость приближающегося электрона, измеренная в старой неподвижной системе координат, которая равна $0,9\ c$, v — скорость старой системы координат с точки зрения наблюдателя, «сидящего» на электроне (здесь $v = = 0,9\ c$). Подставив численные значения в уравнение, получим

$$V = \frac{1,8\ c}{1,81}.$$

Другими словами, наблюдатель, «сидящий верхом» на электро-
не, видит, что другой электрон приближается со скоростью, очень

близкой к скорости света. То, что вы измеряете, зависит от того, где вы находитесь, и ни в коем случае вам не удастся при измерениях получить скорость материального объекта, превышающую скорость света.

Не следует забывать о том, что специальная теория относительности — это только *теория*, если хотите, модель. Завтра какой-либо ученый, возможно, произведет измерения, которые вступят в противоречие с предсказаниями теории. Если другие ученые повторяют эксперимент и подтвердят противоречие, то теорию единодушно отклонят и будут предприняты попытки создания более совершенной теории. Однако специальная теория относительности является краеугольным камнем модели Вселенной физика. Несмотря на то что она противоречит здравому смыслу, исчерпывающая проверка ее не дала пока никаких расхождений. Слово «пока» весьма важно, так как история показывает, что *все* теории в конце концов уступают дорогу более совершенным. Нет никаких оснований считать, что специальная теория относительности будет всегда правильно описывать все результаты измерений, особенно если учесть все более глубокое проникновение науки в атомное ядро и дальнейшее продвижение в космос.

К 1913 г. три классические работы Эйнштейна 1905 г. по специальной теории относительности, броуновскому движению и фотоэлектрическому эффекту позволили ему покинуть швейцарское патентное бюро и перейти сначала в Цюрихский университет, а затем на специально учрежденную для него кафедру в физическом институте кайзера Вильгельма в Берлине. Из-за того, что он был евреем, подъем от мелкого служащего до господина Профессора был медленным. В конце концов, однако, он смог посвятить свою жизнь науке.

В 1916 г. Эйнштейн опубликовал свою общую теорию относительности. С помощью только карандаша и бумаги он заставил целую армию экспериментаторов, в основном астрономов, путешествовать за затмениями по всему земному шару в поисках предсказанных теорией эффектов. Эта история стала классической в науке. Эйнштейн сформулировал новый закон тяготения, однако в большинстве физических ситуаций общая теория относительности сводится к теории Ньютона. Эйнштейн предусмотрительно указал три случая, когда измерения могут показать превосходство его теории над 300-летним законом

тяготения Ньютона. Этим «исключениям» посвятили свои умы и усилия два поколения экспериментаторов.

Измеренное движение перигелия (ближайшей к Солнцу точки орбиты) Меркурия на 43 секунды дуги в столетие превышает предсказанное законом тяготения Ньютона *. Этот наблюдательный факт был известен Эйнштейну до того, как он провозгласил свою общую теорию относительности **. На этом основании некоторые хулители Эйнштейна заявили, что он построил общую теорию относительности таким образом, чтобы объяснить это расхождение. Тем не менее без каких-либо внешних признаков подгонки общая теория относительности Эйнштейна предсказывает результат, очень хорошо соответствующий данным наших измерений. Некоторые современные ученые, например Роберт Дике, предполагают, что смещение перигелия Меркурия может быть вызвано сплюснутой из-за вращения формой Солнца.

Свет звезд, проходящий вблизи Солнца, отклоняется от первоначального направления на 1—2 секунды дуги, как если бы фотоны обладали массой. Этот эффект наблюдался с 1919 г. во время всех полных солнечных затмений. Репутация Эйнштейна висела на волоске, когда в 1919 г. Лондонское Королевское астрономическое общество послало для наблюдения солнечного затмения экспедиции в Северную Бразилию и на остров Принсипе (у берегов Западной Африки). Если бы отклонение света не было обнаружено, антиэйнштейновские силы, ожидавшие за кулисами такой возможности, похоронили бы общую теорию относительности.

* В 90-х годах прошлого века американский астроном Асаф Холл отметил, что это расхождение можно объяснить, заменив R^2 в законе тяготения Ньютона на $R^{2,0000001574}$.

** Здесь опять неточности. Во-первых, соотношение $E = mc^2$ вытекает не из общей теории относительности, а является непосредственным следствием специальной теории относительности — еще одно доказательство, что Эйнштейн не просто дал «более точную и обобщенную формулировку». До Эйнштейна об этом соотношении и не подозревали. Во-вторых, отклонение луча света, проходящего вблизи Солнца, от первоначального направления на $1''$ есть и в специальной теории относительности (здесь фотон тоже обладает «массой»). В общей теории относительности это отклонение удваивается за счет искривления пространства (точная величина отклонения $1'',75$). — *Прим. ред.*

Сила тяготения задерживает фотоны, испускаемые телом, подобным Солнцу, создавая гравитационное красное смещение. Этот эффект наблюдался у белых карликовых звезд, но последние измерения с помощью эффекта Мессбауэра (описываемые ниже в данной главе) более убедительны.

Знаменитое уравнение $E=mc^2$, устанавливающее эквивалентность энергии (E) и массы (m), также вытекает из общей теории относительности. Это относится и к широко известной теории кривизны пространства.

Общая теория относительности, которая в единой концепции связала массу с энергией, также синтезировала время и пространство в четырехмерный пространственно-временной континуум. Одна особенность общей теории относительности весьма привлекательна для артистической души физика-теоретика. Это принцип ковариантности. Кратко его можно сформулировать так: законы природы имеют один и тот же математический вид во всех мыслимых системах координат. Математическое выражение законов тяготения, например, будет одинаково для двух систем координат, движущихся друг относительно друга. Это тешит душу теоретика, пытающегося описать природу в самых общих, самых точных и самых «красивых» выражениях. Для него принцип ковариантности обладает симметрией, которая, безусловно, представляет собой одну из черт того прекрасного, к чему стремится физик-теоретик.

Никакое рассмотрение проблем гравитации и относительности не будет полным без упоминания имен Эрнста Маха и барона фон Этвеша. Им обоим принадлежат важные исследования, приведшие к сформулированному Эйнштейном принципу эквивалентности — утверждению, что гравитационная и инерционная массы тождественны. Принцип эквивалентности — основной и критический для общей теории относительности. Посмотрим, что это означает и как его можно экспериментально проверить.

Прежде всего, что означает этот принцип с позиций экспериментатора? В знаменитом примере, приведенном самим Эйнштейном, человек, находящийся в закрытом, без окон, свободно падающем лифте, считает себя невесомым. Он не мог бы отличить свободное падение от отсутствия силы тяготения в глубинах космоса, вдали от какой-либо звезды. И наоборот, силы инерции, создаваемые ракетой, прикрепленной к нашему

воображаемому лифту в пространстве без силы тяжести, нельзя было бы отличить от самой силы тяжести. На примере современных спутников кажется совершенно очевидным, что инерционная масса, на которую действует центробежная сила, может быть точно уравновешена «гравитационной» массой, стягивающей спутник с «желательной» для него прямолинейной траектории на эллиптическую *. К сожалению, спутники испытывают небольшое сопротивление атмосферы, давление солнечного излучения и воздействие других сил, что делает их плохим инструментом для проверки принципа эквивалентности.

Многим может показаться, что попытки доказать принцип эквивалентности излишни и только усложняют мир. Масса есть масса, и говорить больше тут не о чем. Но если исследователь копнет глубже, то откроются некоторые тонкости. Таким исследователем был австрийский физик Эрнст Мах. Мах плыл прямо против течения науки, отрицая автоматическую точку зрения и выступая против относительности, хотя в последнюю он внес серьезный вклад. Мах считал, что инерцию — нежелание массы двигаться в ответ на действие силы — можно объяснить совместным притяжением всего вещества Вселенной. Неужели какой-нибудь объект, закрепленный со всех сторон пружинами, проявил бы охоту двигаться? Таким образом, масса, или материя объекта, не есть нечто ему присущее, а зависит от окружающей Вселенной. Если бы, например, масса Вселенной была распределена неравномерно, то и сама инерция была бы различной в разных направлениях.

Принцип Маха произвел на космологов такое глубокое впечатление, что был поставлен ряд экспериментов для выяснения вопроса, не меняется ли инерционная масса, если силы прилагаются в разных направлениях. До сих пор еще никто не обнаружил, что толкать кирпич в одном направлении легче, чем в другом. Еще более захватывающим является вытекающее из этого принципа предположение, что расширение Вселенной, сопровождающееся разрежением притягивающих тел, влечет

* На круговой орбите сила тяготения уравнивается центробежной силой: $GmM/R^2 = mv^2/R$, где G — универсальная гравитационная постоянная, m — масса спутника, M — масса Земли, R — радиус орбиты, v — скорость спутника. Мы испытываем искушение сократить m в обеих частях уравнения, хотя левое m — гравитационная масса, а правое — инерционная.

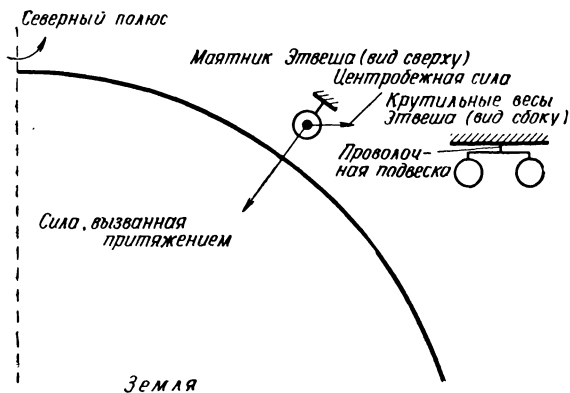


Рис. 13. При изучении принципа эквивалентности с помощью маятника Этвеша ось маятника установлена в направлении восток — запад. Каждый шар испытывает действие силы тяжести и центробежной силы. В результате маятник висит не точно вертикально; имеются горизонтальные компоненты обеих сил, которые создают вращательный момент, если инерциальная и гравитационная массы не равны. Этот вращательный момент уравнивается кручением проволочной подвески. Затем маятник поворачивают точно на 180° . Направление восстанавливающего вращательного момента остается прежним, а направление вращательного момента, возникающего в результате действия любых неуравновешенных сил, меняется на обратное. Таким образом, стержень маятника не повернется точно на 180° , если не соблюдается принцип эквивалентности.

за собой постоянное ослабление силы притяжения у нас на Земле. Сейчас, обращаясь к прошлому, мы можем сказать, что принцип Маха дал Эйнштейну обильную пищу для размышлений в период создания общей теории относительности, но был использован в ней лишь частично.

Теперь обратимся к экспериментальной проверке принципа эквивалентности. Первым с большой точностью проверил этот принцип венгерский физик Этвеш. С помощью очень чувствительных крутильных весов Этвеш смог установить, что инерционная масса (подобная входящей в уравнение центробежной силе) равна гравитационной массе с точностью до 10^{-8} (т. е. до одной стомиллионной). Результаты Этвеша, опубликованные в 1890 г., дали физикам уверенность в том, что значения m в их уравнениях равны по крайней мере в числовом отношении,

а может быть, совпадают по своей сути. Эксперимент Этвеша был многократно повторен с более чувствительным оборудованием. Оказалось, что инерционная и гравитационная массы равны с точностью до нескольких долей 10^{-10} (т. е. десятиллиардных долей).

Большинство проверок общей теории относительности зависело от сверхточных астрономических измерений, например таких, как измерение незначительного отклонения световых лучей вблизи Солнца во время затмений и красного смещения фотонов, пытающихся вырваться из гравитационного поля Солнца. Беда астрономических измерений связана с чрезвычайной слабостью измеряемых эффектов, так что они могут потеряться на фоне помех или исказиться незнакомыми нам или неконтролируемыми физическими процессами. До последнего времени астрономические методы проверки общей теории относительности были убедительными, но недостаточно точными для того, чтобы все ученые с энтузиазмом приняли эту теорию. Требовалась проверка в земных условиях, причем такая, чтобы ее мог провести любой, не дожидаясь затмений и не беспокоясь об лишних помехах и искажениях. «Совершенный» эксперимент стал возможен после открытия в 1957 г. Рудольфом Мессбауэром в Институте Макса Планка в Гейдельберге эффекта Мессбауэра.

Мессбауэр нашел, что гамма-лучи, испускаемые радиоактивными изотопами в кристаллах, при определенных условиях обладают примерно одинаковой энергией. Кристаллический поглотитель, содержащий тот же радиоактивный изотоп, будет «настроен» на эти моноэнергетические гамма-лучи при условии, что он неподвижен и находится в той же горизонтальной плоскости. Детектор гамма-лучей, установленный позади поглощающего кристалла, покажет резонансное поглощение гамма-лучей при этих условиях. Но малейшее относительное движение источника или поглотителя расстроит эксперимент из-за эффекта Доплера. Более того, ориентировка эксперимента в вертикальной плоскости также расстроит эксперимент, поскольку гамма-лучи будут замедляться тяготением (в соответствии с общей теорией относительности) во время движения вверх к поглотителю. Возникнет красное смещение.

Эффект Мессбауэра впервые был использован для проверки предсказанного общей теорией относительности гравитацион-

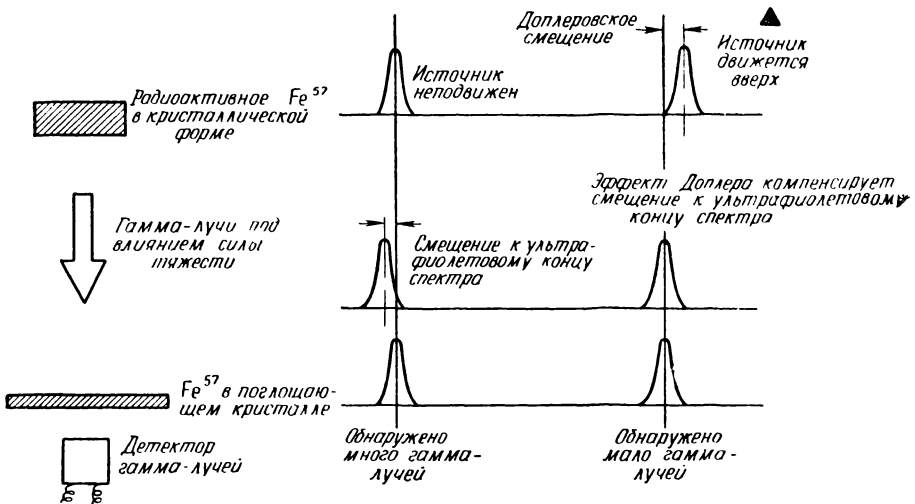


Рис. 14. Проверка гравитационного фиолетового смещения с помощью эффекта Мессбауэра. Гамма-лучи, испускаемые Fe^{57} , смещаются в сторону больших длин волн под действием силы тяжести, так что они легко проходят через поглотитель. Эффект Доплера, достигаемый при медленном подъеме источника, перестраивает эксперимент так, что большая часть гамма-лучей поглощается.

ного красного смещения в 1960 г. английскими учеными Дж. Шиффером, Т. Крэншоу и А. Уайтхедом. Применяя в качестве источника гамма-лучей радиоактивный изотоп железа-57, они заставляли гамма-лучи «падать» к поглотителю, находящемуся на несколько метров ниже, причем эти лучи ускорялись силой тяжести подобно падающему лучу (см. выше). Такое расположение поглотителя и источника превращало эксперимент скорее в проверку фиолетового смещения общей теории относительности, а не красного. Даже незначительное расстояние в несколько метров вызывало заметное отклонение от настройки в эксперименте. Резонанс был восстановлен небольшим движением поглотителя вниз с тем, чтобы доплеровский эффект компенсировал гравитационный. Найденное таким путем фиолетовое смещение отличается от предсказанного общей теорией относительности примерно на один процент. Этот

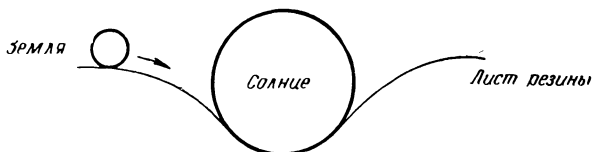


Рис. 15. В общей теории относительности вводится *искривление* пространства-времени, смещающего массу. На нашем рисунке показан двухмерный резиновый лист вместо четырехмерного пространства, которое нарисовать невозможно. По этому представлению искривление пространства-времени из-за присутствия массы притягивает Землю к Солнцу. «Тяжелое» Солнце притягивает к себе Землю не потому, что оно излучает какую-то таинственную силу, действующую сквозь 150 000 000 км вакуума, а потому, что оно искривляет пространство и время.

простой и изящный опыт оказался лучшей и наиболее убедительной проверкой общей теории относительности.

Как специальная, так и общая теория относительности представляют собой математические модели Вселенной, дающие нам несколько механических методов для наглядного представления о происходящем в действительности. Ведь в ньютоновской Вселенной звезды и планеты двигались понятным для нас образом. К нашему глубокому сожалению, Вселенная, раскрываемая современными инструментами, нелегко поддается механической интерпретации.

Существует, однако, один доступный наглядному представлению аспект общей теории относительности, бывший довольно популярным у авторов научных произведений в 20-х и 30-х годах нашего столетия. Это была (и есть) возможная кривизна пространства — качество релятивистской Вселенной, вызывающее к нашему геометрическому воображению. В общей теории относительности присутствие массы искривляет время и пространство. Представим себе, что четыре измерения времени и пространства превратились вблизи Солнца в два измерения натянутого резинового полотна, причем Солнце — тяжелая сфера, которая давит на часть этого полотна. Тогда меньшая масса «притягивалась» бы к Солнцу не под действием силы тяжести, а благодаря искривлению пространства и времени. Даже световые лучи изгибались бы вблизи Солнца под влиянием кривизны пространства-времени. Ньютоновское представление о Вселенной, заполненной движущимися центрами гравитацион-

ных сил, заменяется четырехмерным континуумом, где тела и световые лучи движутся по своим путям (называемым геодезическими линиями), определяемым структурой пространства-времени. В этом представлении о космосе пространство является плоским, если световые лучи в среднем распространяются прямолинейно. Пространство обладает положительной кривизной, если луч света в конце концов возвращается к исходной точке. Вы можете представить себе всю Вселенную как поверхность мыльного пузыря. Свет будет путешествовать вдоль пленки и возвращаться к месту возникновения. В пространстве с отрицательной кривизной световые лучи будут изгибаться, но никогда сами себя не пересекут.

Первоначально Эйнштейн предполагал, что Вселенная статична и обладает такой положительной кривизной, при которой луч света полностью обойдет всю Вселенную примерно за 200 миллиардов лет. Это было еще до открытия и признания расширяющейся Вселенной. Голландский астроном Вильям де Ситтер, много сделавший для пропаганды работ Эйнштейна, сразу же понял, что общее разбегание галактик, вытекающее из их красных смещений, означает непрерывное увеличение радиуса кривизны Вселенной. В конце концов Эйнштейн убедился в правильности этой точки зрения.

Все современные космологи считают, что пространство имеет некоторую положительную кривизну*. Неизвестно только ее

* А это просто неверно. Вопрос о положительности или отрицательности кривизны может быть решен по данным наблюдений. Если средняя плотность вещества в наблюдаемой нами части Вселенной больше некоторого значения (примерно $2 \cdot 10^{-29}$ г/см³ — оно определено постоянной Хаббла), то пространство имеет положительную кривизну (здесь как бы сила тяготения больше силы, связанной с расширением). Если же средняя плотность меньше этого значения, пространство имеет отрицательную кривизну. Мир с положительной кривизной замкнут и ограничен по объему; мир с отрицательной кривизной бесконечен.

Космологи и астрономы-наблюдатели много раз пытались получить оценку средней плотности, вещества или хотя бы определить ее верхнюю границу. До сих пор это удавалось плохо, но все же более вероятно, что средняя плотность меньше предела $2 \cdot 10^{-29}$ г/см³ и поэтому наше пространство, вероятнее всего, имеет отрицательную кривизну. Численное ее значение определить сейчас совершенно невозможно.

Все, что ниже следует до конца абзаца, неверно. — *Прим. ред.*

значение. Кривизна пространства измеряется подсчетом числа галактик в единице объема в функции расстояния от Земли. Если число галактик в единице объема с расстоянием уменьшается, то пространство имеет положительную кривизну, если же увеличивается, то отрицательную. Современные подсчеты свидетельствуют о положительном радиусе кривизны, равном примерно 13 миллиардам световых лет и увеличивающемся в процессе разбегания галактик.

Специальная и общая теории относительности оказали глубокое влияние на философию, хотя ученые и неохотно пользуются ими в работах, не связанных непосредственно с физическими телами и измерениями. Наука Ньютона считалась материалистической. В его представлении все движения происходят в соответствии с неизменными законами. Эти законы можно было распространять далеко в прошлое и в будущее в зависимости от числа, подставляемого в уравнения вместо времени. Пока монолитная скала ньютоновской науки оставалась непоколебимой, было мало места для судьбы, свободной воли и тех, кто хотел быть властелином своих душ. Поэтому некоторые приветствовали появление теории относительности как отход от материализма, возможно, потому, что она намекала на существование тайных миров, в которые наши повседневные чувства не могут проникнуть.

В то же время теорию относительности критиковали за абстрагирование науки и отрыв описаний природы от наших естественных представлений о цвете, форме и размере. И действительно, в сороковых годах журналисты изображали общую теорию относительности настолько абстрактной и сложной, что понять ее будто бы мог лишь десяток ученых, помимо самого Эйнштейна. На самом деле, теория относительности всегда сводит обычные ситуации к обычным описаниям. Теория относительности — не инородное тело, она применима как на кухне, так и в лаборатории; она предсказывает странные эффекты лишь в немногих особых случаях, регистрируемых несколькими физиками и астрономами. Что же касается философской интерпретации теории относительности, то философы имеют обыкновение верить ей лишь тогда, когда она поддерживает их собственные взгляды на космос.

В наши дни специальная теория относительности — признанный надежный кирпич в том храме науки, который был

частично разрушен и вновь построен Эйнштейном, Беккерелем, Планком и другими. Эйнштейн сделал лишь последние штрихи в специальной теории относительности. Эта теория должна была появиться. Куски мозаики находились большей частью под рукой, так же как у Ньютона, когда он выводил свой закон всемирного тяготения из законов Кеплера.

С общей теорией относительности, однако, дело обстоит совсем иначе. Экспериментальные проверки поддерживают теорию, насколько могут. За исключением опыта, основанного на эффекте Мессбауэра, остальные не отличаются достаточной точностью. Существует лишь очень немного пунктов, в которых общая теория относительности предсказывает результаты, отличные от вытекающих из закона всемирного тяготения Ньютона, и различия эти весьма незначительны. Следует иметь в виду не только сложность экспериментов, но и то, что решение уравнений общей теории относительности необычайно затруднительно. Результаты же, полученные до сих пор, либо весьма приближенны, либо имеют настолько ограниченную сферу применения, что не очень хорошо помогают понимать реальный мир. Кроме того, существуют философские проблемы, например правомерность принципа Маха. Тем не менее почти любой физик подтвердит свою уверенность в том, что общая теория относительности наилучшим образом описывает Вселенную. Общая теория относительности завоевывала свои позиции постепенно. Нам трудно понять ту страстную борьбу, которая велась вокруг нее в первые два десятилетия ее существования. Макс Планк, чья квантовая теория встретила подобное сопротивление, сделал подходящее замечание: «Новая научная истина побеждает не потому, что она убедила противников и заставила их прозреть, а скорее потому, что ее противники в конце концов умирают и вырастает знакомое с ней новое поколение...» *.

ЛИТЕРАТУРА

- Barnett L., The Universe and Dr. Einstein, William Sloane Associates, New York, 1957.
 Bergmann P. G., An Introduction to the Theory of Relativity, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1942 (русский перевод: Бергман П., Введение в теорию относительности, ИЛ, М., 1947).

* Макс Планк, «Научная автобиография».

- Bergmann P. G., Relativity, McGraw-Hill Encyclopedia of Science and Technology, McGraw-Hill Book Co., New York, 1966.
- Bondi H., Relativity and Common Sense, Doubleday and Co., Garden City, New York, 1964 (русский перевод: Бонди Г., Относительность и здравый смысл, изд-во «Мир», М., 1966).
- Bridgman P. W., A Sophisticate's Primer of Relativity, Harper and Row, New York, 1962.
- Einstein A., The Meaning of Relativity, Princeton University Press, Princeton, 1956 (русский перевод: Эйнштейн А., Сущность теории относительности, ИЛ, М., 1958).
- Gamow G., Gravity, Anchor Books, Garden City, New York, 1962.
- McVittie G. C., General Relativity and Cosmology, University of Illinois Press, Urbana, 1965 (русский перевод 1-го изд.: Мак-Витти Дж., Общая теория относительности и космология, ИЛ, М., 1961).
- Жуков А. И., Введение в теорию относительности, Физматгиз, М., 1961.
- Соколовский Ю. И., Теория относительности в элементарном изложении, изд-во «Наука», М., 1964.
- Угаров В. А., Специальная теория относительности, изд-во «Наука», М., 1969.

КАК РАБОТАЕТ ЗВЕЗДА

Звезды представляются нам просто светлыми точками, поднимающимися над горизонтом на востоке и опускающимися на западе. Из тысячи с лишним звезд, видимых всеми, кто хочет тщательно наблюдать их из месяца в месяц, некоторые кажутся яркими, другие более слабыми. Одни кажутся красноватыми, другие голубыми. Их можно группировать в созвездия: они образуют Южный Крест, Большую Медведицу и «Маленькие глаза» полинезийских мореплавателей. За столетия звезды слегка смещаются на небе относительно друг друга, но без какого-либо видимого порядка. Что еще можно сказать о звездах? Немного, если мы смотрим невооруженным глазом, и гораздо больше, если мы вооружимся телескопами и спектральными приборами. Эта глава и посвящается анализу света звезд. Опираясь комплексом законов физики, проверенных в земных условиях, и скудными данными, принесенными фотонами, которые пробились сквозь толщу нашей атмосферы, мы можем построить модели звезд, удаленных от нас на миллионы световых лет.

В течение двух тысяч лет астрономы могли лишь очень мало добавить к констатации того очевидного факта, что звезд имеется великое множество. В 134 г. до н. э. величайший древнегреческий астроном Гиппарх был потрясен, увидев яркую звезду (новую) на том месте, где никогда до этого звезды не было. Пораженный этим явлением, происшедшим на считавшихся неизменными небесах, он составил первый систематический каталог звезд. Гиппарх привел в каталоге координаты примерно тысячи звезд и разбил их на группы по блеску. Двадцать самых ярких звезд неба были названы звездами «первой звездной величины», а еще различимые невооруженным глазом он отнес к шестой звездной величине. Составление звездного каталога было только началом, но простой перечень говорил о внутренних процессах в природе не больше, чем коллекция

марок говорит о ядерной физике. Сквозь объемистые столбцы чисел не проглядывала никакая система, никакой общий план.

Во II в. н. э. каталог Гиппарха был дополнен Птолемеем. В известном птолемеевском «*Megiste Syntaxis*», или «Великом построении», имелся каталог, включавший 1022 звезды. После падения Римской империи арабы раздобыли, перевели и сохранили птолемеевский каталог под названием «Ал Магисти», от которого происходит наше «Альмагест». «Альмагест» оставался краеугольным камнем астрономии почти тысячу лет. Однако никому не удалось извлечь из него каких-либо тайн. Это был просто еще один список звезд.

С изобретением телескопа (около 1600 г.) число «видимых» звезд выросло во много раз. Для того чтобы навести порядок в этих непроходимых джунглях новых наблюдений, астрономы должны были найти звездные характеристики, более существенные, чем блеск и положение на небе. В идеале теоретик, жаждущий положить конец хаосу несопоставимых измерений, хотел бы по крайней мере знать расстояния до звезд, их массы, скорости и что-либо менее субъективное, чем «звездная величина» и «блеск». Это было трудной задачей для наблюдательной науки, развивавшейся под завесой атмосферы, закрывавшей большую часть спектра.

Однако астрономы проявили большую изобретательность в борьбе с этими препятствиями. Сначала была построена шкала расстояний, опиравшаяся на триангуляцию ближайших звезд, причем в качестве базиса использовался диаметр земной орбиты, равный 300 000 000 км (см. гл. 1). Немецкий бухгалтер Фридрих Вильгельм Бессель, ставший впоследствии астрономом, объявил в 1838 г., что он измерил расстояние до звезды 61 Лебеда*. Оно оказалось равным 11 световым годам — невероятное расстояние, которое вдруг показало, что Вселенная гораздо больше, чем мы ее себе представляем. Примеру Бесселя последовали другие измерители межзвездных расстояний. Среди них была сотрудница Гарвардской обсерватории Генриетта Ливитт, которая в 1912 г. построила шкалу расстояний для переменных звезд цефеид. В гл. 1 рассказывалось, как с помощью

* Самое первое измерение параллакса звезд было проведено русским астрономом В. Я. Струве в 1837 г. — *Прим. ред.*

этой новой шкалы были произведены измерения расстояний до самых краев нашей Галактики.

Знание расстояния до таинственного объекта еще не дает нам представления о его природе. Тем не менее успешное измерение расстояний после многовековых тщетных попыток это сделать представляет собой значительный вклад в понимание общей картины, к которому мы медленно приближаемся.

Несомненно, одной из наиболее важных звездных характеристик является «блеск» или, как говорят астрономы, «звездная величина». Еще Гиппарх распределил наблюдавшиеся им звезды по звездным величинам, от 1-й до 6-й. Его преемники, вооруженные телескопами, пополнили на протяжении веков каталог Гиппарха многими тысячами объектов. Тот факт, что звезды находятся от нас на различных расстояниях, заставил ученых назвать непосредственно измеряемые звездные величины «видимыми звездными величинами», поскольку очень яркая звезда может казаться слабой лишь потому, что она далека от нас. Нужно было избавиться от влияния расстояния на блеск звезд и превратить «видимую звездную величину» в «абсолютную звездную величину», введя поправку на расстояние. Для того чтобы получить представление об общей картине, следовало отнести все звезды на одно и то же расстояние.

Первый шаг в постановке на подлинно научную основу проблемы звездных величин был сделан Карлом Шварцшильдом, впоследствии ставшим первым директором Геттингенской обсерватории. В начале нашего века Шварцшильд измерил степень потемнения фотографической пленки в тех местах, где получились изображения различных звезд. Это дало ему число, или «фотографическую звездную величину», для каждой звезды, которую все астрономы по желанию могли получить самостоятельно. Теперь астрономы могли заменить в высшей степени субъективную «визуальную звездную величину» двухтысячелетней давности надежными числами, измеренными на единой основе во всем мире. Вскоре появились фотоэлемент и другие светонизмерительные приборы, и родилась научная дисциплина — звездная фотометрия.

Тщательная фотометрия показала, что некоторые из гиппарховых звезд первой величины значительно ярче других звезд этой группы. Пересмотр шкалы видимых звездных величин,

при котором сохранялась шкала Гиппарха, шел в двух направлениях: не принимавшиеся ранее во внимание слабые звезды, видимые только в телескоп, получили звездные величины больше шести, а звездам, более ярким, чем стандартные звезды первой величины, приписывались значения, меньшие единицы и даже отрицательные. Астрономы упорядочили шкалу звездных величин, приняв, что при различии в пять звездных величин одна звезда ярче другой в сто раз. Например, яркая звезда Сириус имеет видимую звездную величину $-1,4$, а Солнце $-26,7$. Самые слабые из обнаруженных звезд относятся к $+23$ величине.

Все абсолютные звездные величины выводятся в предположении, что звезда находится на расстоянии 10 парсеков ($1'$ парсек $= 3,26$ светового года). Сириус, удаленный от нас всего на 2,7 парсека, имеет абсолютную звездную величину $+1,5$ при видимой величине $-1,4$: Солнце, отнесенное на расстояние в 10 парсеков, представлялась бы довольно слабой звездочкой $+4,9$ абсолютной звездной величины.

Наконец-то измерение блеска звезд перестало зависеть от расстояния от Земли и индивидуальных особенностей наблюдателя. Но даже при этом, зная, что некоторые из объектов большие, а некоторые маленькие, мы не можем еще понять, какие составные части заставляют их «работать». Следующий шаг звездной диагностики потребовал особого вида хирургии — хирургии без ножа.

Чтобы проникнуть в недра звезд, люди обратились к спектрометру (или спектроскопу). В спектроскопе стеклянная призма или решетка со штрихами разлагает свет в спектральную полосу по длинам волн. Поскольку по свету, испускаемому источником излучения, а может быть, и испытывшему поглощение на пути к нам, развернутому в спектр, можно судить об атомах и молекулах источника, спектрометр представляет собой ценный прибор для анализа удаленных объектов. На самом деле спектрометр регистрирует только то излучение, которое «просачивается» к поверхности звезды и не поглощается по пути ее толстой атмосферой. В большинстве звездных спектров преобладает излучение, испускаемое водородом. Значит, водород должен быть главной составной частью многих звезд. Каждая звезда имеет свой особый спектр, однако у них есть много сходного. Первоначально астрономы рассортировали

звезды по их «спектральным классам» почти так же произвольно, как в свое время Гиппарх разбил 1000 звезд своего каталога на шесть сортов в зависимости от их звездной величины. Звезды с самыми сильными линиями водорода в спектре были отнесены к классу А, с более слабыми — к классу В и т. д. по алфавиту. Астрономам доставляло удовольствие сортировать звезды по какому-то физическому признаку помимо блеска. Но хотя алфавитный порядок выдерживался, рационального зерна в такой сортировке по буквам не было.

Прояснение наступило тогда, когда поняли, что самым важным фактором, определяющим интенсивность спектральных линий, является *температура* поверхности звезды. В конце концов с этой неразберихой покончили, распределив все спектральные категории по возрастающей температуре. Подобно тому как становившаяся на научную основу астрономия растянула шкалу звездных величин Гиппарха, при новой классификации был перетасован весь алфавит. *Классификация Дрэпера* (получившая название по имени американского спектроскописта Генри Дрэпера) использует такую последовательность букв: О, В, А, F, G, K, M, R, N, S; в ней звезды располагаются по уменьшающейся температуре. (Совершенно естественно, что студенты не могли устоять против искушения обессмертить эту последовательность следующим мнемоническим правилом: O, Be a Fine Girl, Kiss Me Right Now, Smack! *. Определение спектральных категорий сейчас дается с гораздо большей точностью. Например, к звездам класса А теперь относят объекты, имеющие в спектре сильные линии водорода (как и прежде), линии ионизованного магния и кремния; в этом спектре начинают появляться линии ионизованного кальция, железа и титана, а линии гелия отсутствуют.

Когда в самом начале XX в. был опубликован «Каталог Генри Дрэпера», астрономы получили список 225 000 звезд со звездными величинами и спектральными классами дрэперовской классификации. Абсолютная звездная величина характеризовала светимость звезды, а дрэперовская классификация —

* О, Будь Славной Девчонкой, Поцелуй Меня Прямо Сейчас, Чмок! — *Прим. перев.* [Есть и русское мнемоническое правило, предложенное профессором Б. А. Воронцовым-Вельяминовым: Один Бритый Англичанин Финики Жевал, Как Морковь. — *Прим. ред.*]

ее температуру. Каждая звезда в каталоге имела, таким образом, два измерения; теперь должен был найтись кто-то, кто обобщил бы данные каталога и объединил общей связью сотни тысяч каталогизированных звезд.

Такой важный синтез был выполнен одновременно двумя независимо работавшими, не общавшимися и жившими далеко друг от друга учеными, как это часто (и так удивительно) бывает с открытиями и новшествами. В 1905 и 1907 гг. датский астроном Эйнар Герцшпрунг опубликовал сообщения в полупопулярном немецком фотографическом журнале. В этих сообщениях он указал, что абсолютная звездная величина и спектральная классификация *взаимосвязаны*. Это значит, что если упоминавшиеся два параметра нанести на график, то вырисовывается определенная картина. Большинство звезд попадает в полосу, которую Герцшпрунг назвал «главная последовательность». Несколько лет открытие Герцшпрунга покрывалось пылью, не прочитанное ученой братией. В 1914 г. директор обсерватории Принстонского университета Генри Рессел вновь открыл «последовательность», найденную Герцшпрунгом. В наши дни на диаграмме Герцшпрунга — Рассела (см. рис. 16) появилось множество новых точек, каждая из которых представляет звезду, но дополнительные данные лишь подтверждают то, что Герцшпрунг и Рессел установили более полувека назад: абсолютная звездная величина и спектральная классификация связаны между собой.

Сама по себе диаграмма Герцшпрунга — Рассела не открывает никаких поразительных физических истин. Это только удобный и интригующий способ систематизации звездных характеристик, но диаграмма заставляет нас думать, и в этом ее значение. Здесь можно провести аналогию с попыткой понять движение волн в океане, изучая картину ряби на песке.

Ученый ждет от природы порядка, и диаграмма Герцшпрунга — Рассела — проявление этого порядка. Сама диаграмма, однако, не была моделью звезды и не рассказывала, как звезда работает. Она была лишь намеком на порядок и разум, свойственный Вселенной.

Диаграмма Герцшпрунга — Рассела указывает путь к построению модели звезды. Она неявно говорит о том, что звезды отличаются друг от друга, но образуют *непрерывный* ряд, т. е. на главной последовательности диаграммы нет каких-либо сму-

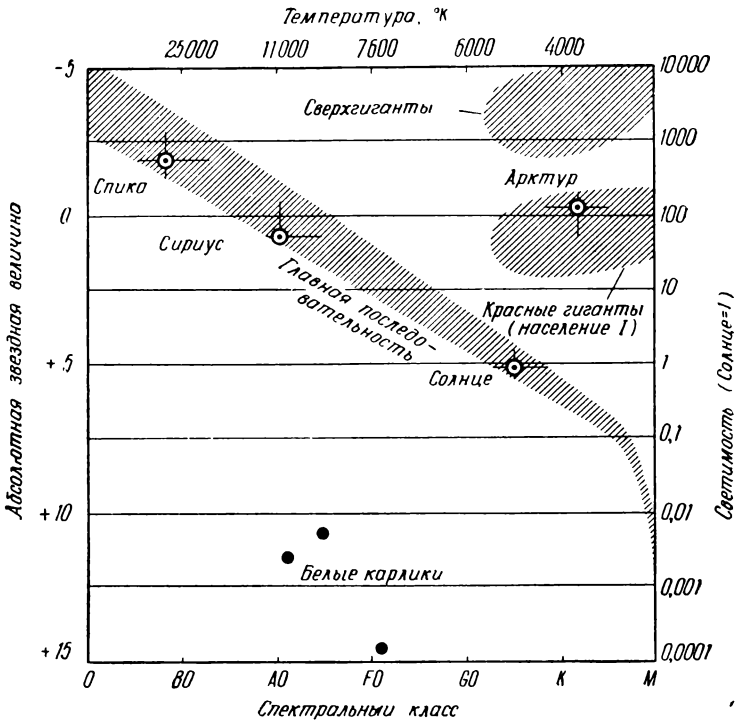


Рис. 16. Каждая точка на диаграмме Герцшпрунга — Рассела представляет звезду. Большинство исследованных звезд лежит либо на главной последовательности, либо в области красных гигантов. Солнце расположено на главной последовательности между спектральными классами G0 и K, (Спектральный класс Солнца G2.—Ред.)

щающих нас разрывов, и звезды постепенно переходят от одного спектрального класса к другому. Самым естественным было бы предположение, что главная последовательность — «река» звездной эволюции, на одном конце которой рождаются, а на другом умирают. Логика подкрепляет эту мысль, поскольку звезды представляют собой источники энергии, которые вспыхивают, обладая конечным запасом топлива. В конце концов топливо выгорает, пламя угасает и звезда сходит с конца

главной последовательности, чтобы больше не появиться. Теперь модели звезд не только должны были соответствовать диаграмме Герцшпрунга — Рессела, но их можно было и проверять с ее помощью *.

По образу и подобию ближайшей к нам звезды — Солнца — модель звезды главной последовательности должна представлять собой раскаленный газовый шар, который:

по своему спектральному классу и абсолютной звездной величине находится в пределах главной последовательности; подчиняется всем физическим законам, установленным на Земле, например закону сохранения энергии, ньютоновскому закону всемирного тяготения и др.;

обладает долговечным источником энергии и, кроме того, каким-то способом передачи внутреннего тепла к поверхности, откуда оно может излучаться;

имеет возраст, согласующийся с возрастом Вселенной.

Создание подобной модели — настоящий подвиг, если учесть тот факт, что астрономы могут наблюдать звезды лишь с огромных расстояний в течение жизни, которая ничтожно коротка по сравнению с временем существования звезды.

Лучше всего начинать строить модель звезды с источника энергии. Основное в звезде — это колоссальный источник энергии. До открытия термоядерных реакций, выделяющих большое количество энергии, ученые не представляли себе, как возникает звездная энергия. В 1854 г. немецкий физик Герман фон Гельмгольц высказал предположение, что источником энергии звезды может быть гравитационная потенциальная энергия сжатия. Его вычисления сразу же показали, что звезда, подобная нашему Солнцу, при таком слабом источнике энергии должна была бы прекратить светиться всего за несколько миллионов лет. Построенная же геологами историческая модель Земли требовала в сто раз больше времени. Вычисления лорда Кельвина и других ученых привели к тому же парадоксу. Источники энергии, известные до 1900 г., в частности «ископаемые» топлива, не могли бы поддерживать жизнь звезды (точнее, Солнца) в течение периода, необходимого геологам.

* Так вначале и предложил Г. Рессел. Однако впоследствии выяснилось, что эволюция звезд имеет совершенно другой характер, см. ниже. — *Прим. ред.*

Первые проблески в разрешении этого парадокса появились в 1931 г., когда австрийский физик Фриц Хаутерманс и английский астроном Роберт Аткинсон объединили свои усилия для того, чтобы выяснить, не может ли какая-либо ядерная реакция поддерживать биение пульса Солнца в течение такого длительного времени, которое удовлетворяло бы геологов. Всего каких-то 35 лет назад была открыта радиоактивность, и за это время быстро развивающаяся ядерная физика показала, что четыре самостоятельно существующих ядра водорода тяжелее, чем когда они объединены в ядре гелия. Хаутерманс и Аткинсон пришли к выводу, что если каким-нибудь способом удавалось бы «сварить» ядра водорода так, чтобы они по четыре соединялись в ядро гелия, то избыток массы превратился бы в такое количество энергии, которое сделало бы водород идеальным звездным топливом. В своей книге «Звезда, названная Солнцем» Гамов рассказывает, что Хаутерманс и Аткинсон первоначально называли свою классическую статью так: «Как сварить ядро гелия в потенциальном горшке». Вскоре их работа была опубликована в журнале «Zeitschrift für Physik», но под менее интригующим заглавием. Из-за отсутствия точных экспериментальных данных Хаутерманс и Аткинсон не могли указать определенной последовательности ядерной «варки», но наиболее важное звездное топливо — водород — и его «золу» — гелий — они нашли.

Следующий акт истории начался в 1938 г., но труппа и сцена нам уже более знакомы: Ганс Бете в США и Карл фон Вейцзеккер в Германии работали над интересующей нас проблемой одновременно, но независимо друг от друга. Они оба открыли, что ядро углерода может при высокой температуре служить катализатором при «уваривании» водорода в гелий. Точнее, углерод помогает началу синтеза, но когда строительная ядерная работа заканчивается, углерод освобождается, не претерпев никаких изменений, и готов начать новый цикл синтеза. Это был знаменитый «углеродный цикл», о котором писали на первых полосах газет в самом начале второй мировой войны. Это было интересно всем, потому что «циклы» были широко известны по работам биологов, посвященным циклам кислорода и углекислого газа в биосфере Земли. В то время как Бете и фон Вейцзеккер уточняли свой углеродный цикл, молодой американский физик Чарльз Критчфилд из

университета Джорджа Вашингтона открыл другую реакцию синтеза водорода в гелий, протекающую при более низких температурах. При этой реакции два ядра водорода сливаются непосредственно, без какого бы то ни было катализатора, и образуют ядро тяжелого водорода. Дальнейшее слияние с ядрами водорода приводит к образованию ядра гелия. Первоначально считали, что реакция синтеза Критчфилда, названная протон-протонной реакцией, не может иметь большого значения для выработки звездной энергии из-за ничтожно малой вероятности нескольких последовательных слияний ядер водорода. Более точные вычисления, однако, дали противоположный результат. В течение двух десятилетий углеродный цикл и протон-протонная реакция поочередно выходили на первое место, как в беге наперегонки. В наши дни считают, что углеродный цикл господствует в более горячих звездах, а протон-протонная реакция характерна для сравнительно холодных звезд, таких, как Солнце.

Ядерное топливо генерирует в 100 000 раз больше энергии на единицу веса, чем лучшие химические топлива. Даже при этом Солнце каждую секунду «сжигает» около 600 миллионов тонн водорода. Около 99% этого водорода синтезируется в гелий, а остальная часть непосредственно переходит в энергию, поддерживающую существование Солнца (и нас). К счастью, Солнце так огромно, что даже при таком быстром расходе топлива водорода в нем столько, что хватит по крайней мере еще на 5 миллиардов лет.

Признание водорода основным звездным топливом оказало глубокое влияние на попытки теоретиков построить модель звезды. Любая модель должна была содержать огромное количество водородного топлива, а также показывать, как зажечь термоядерный «костер». Но как достичь температуры зажигания в миллионы градусов, не прибегая к ядерному теплу? Один вид звездной «спички» открыли лорд Кельвин, фон Гельмгольц и другие, когда в конце XIX в. рассматривали гравитацию как возможный источник звездной энергии. Они нашли спичку, а Бете, фон Вейцеккер и Критчфилд — топливо. Возгорание звезды происходит тогда, когда колоссальное облако межзвездного газа и пыли сжимается под действием гравитации в плотную сферическую массу и превращает кинетическую энергию мчащихся внутрь атомов в тепло. Ядра

водорода начинают сливаться сначала в низкотемпературной протон-протонной реакции, и вскоре ядерный «костер» становится настолько горячим, что может поддерживать свое существование без гравитационной спички. Звезда будет устойчивой, когда уравниваются противодействующие эффекты гравитации и тенденции горячих газов к расширению. Когда водородное топливо выгорит, звезда прекратит свое существование и больше не будет видна. Сама по себе модель была чистенькой и аккуратной.

Физические модели, кажущиеся логичными, могут за фасадом разумности скрывать грубые нарушения законов природы. Более глубокое изучение предложенной выше модели не выявляет таких открытых противоречий законам природы, но ряд вопросов остается еще без ответа, что делает эту модель ненадежной.

Мысль о гравитационном «подметании» и концентрации разнообразного межзвездного вещества в тело размером со звезду или в «протозвезду» для теоретика не содержит в себе никаких подводов. Нет подводов и в идее термоядерного зажигания и последующего «сгорания» водорода, превращающегося в гелий в жарком центре звезды. Но как тепло проходит из ядра звезды к ее поверхности сквозь плотный ионизованный газ толщиной во многие тысячи километров? Если тепло не пробьется каким-либо образом из ядра, то наступит неустойчивое состояние, которое может привести к взрыву. И действительно, кажется, что здесь присутствуют все составные части водородной бомбы.

Современная модель средней звезды главной последовательности предполагает существование трех зон: внутренней и наружной конвективных зон, где происходит интенсивное перемешивание газов, и толстой неконвективной «радиационной» зоны между ними, сквозь которую тепло проходит путем излучения*. Именно *передача тепла путем излучения* объясняет

* Здесь и в дальнейшем есть неточности. Трехзонной модели нет. Есть модели горячих звезд, где в центре конвективная зона, окруженная лучистой оболочкой, и модели холодных звезд, где конвективная зона снаружи, а во всей внутренности звезды энергия переносится излучением. В частности, протон-протонное «горение» всегда имеет место в лучистой области, а углеродный цикл — в конвективной зоне. — *Прим. ред.*

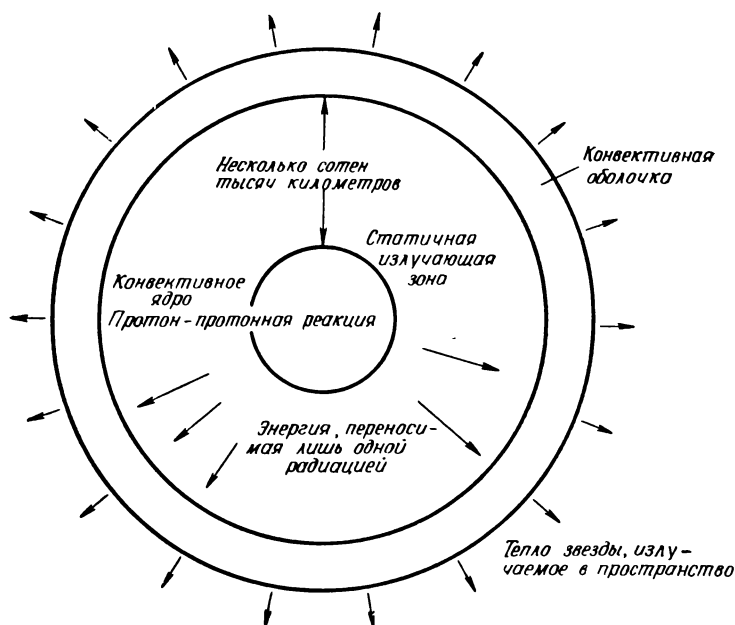


Рис. 17. Модель звезды главной последовательности средней массы. Все тепло образуется в конвективном ядре в протон-протонном или углеродном цикле. Энергия проходит сквозь статичную излучающую зону благодаря процессу испускания и поглощения рентгеновских лучей. На внешней поверхности звезды вся энергия излучается наружу.

выход его из раскаленной конвективной зоны, где в основном и происходит протон-протонное «горение». Если бы не это, звезды взрывались бы сразу после своего образования, поскольку известные нам процессы переноса тепла — теплопроводность и конвекция — полностью исключаются на расстояниях в тысячи километров от центра звезды до ее поверхности.

Перенос энергии в звездной модели представляется следующим: почти вся энергия вырабатывается в центральном ядре при температурах в десятки миллионов градусов. При таких температурах тепловое излучение относится к области рентгеновских лучей и поэтому обладает весьма высокой проникающей способностью. Рентгеновские лучи из ядра вторгаются

в статичную радиационную зону, где они поглощаются и немедленно вновь переизлучаются в виде рентгеновских лучей несколько меньшей энергии. В результате ряда последовательных поглощений и переизлучений рентгеновские лучи переносят энергию из ядра к внешней конвективной зоне, откуда она в конце концов излучается в пространство. Толстая радиационная зона фактически сравнительно *прозрачна* для теплового излучения в рентгеновской области спектра.

Трехзонная модель стабильна также и во времени. Направленные наружу силы, созданные давлением излучения, уравновешивают силу тяготения, стремящуюся еще более сжать звезду. Стабильное состояние существует, если ядро звезды вырабатывает больше энергии, чем может быть транспортировано к поверхности и излучено в пространство. Если тратится энергии меньше, чем вырабатывается, то температура ядра звезды сначала повышается, увеличивая направленное наружу давление излучения и вызывая расширение ядра. Когда ядро расширяется, оно охлаждается и термоядерная энергия вырабатывается медленнее. И наоборот, если поверхность звезды охлаждается быстрее, чем ядро вырабатывает энергию, то последнее охлаждается и сжимается. Гравитационная энергия «накачивается» в звезду во время сжатия, и служащие топливом ядра водорода сближаются. В результате возрастает выработка энергии. Таким образом звездная модель автоматически регулируется так, чтобы вся вырабатываемая энергия излучалась без каких-либо катастрофических взрывов.

Стабильность по своей природе вещь преходящая. Даже звезды должны когда-нибудь умереть, хотя и могут прожить миллиарды лет. Описанная выше модель в действительности представляет собой «моментальный снимок» звезды средних размеров, подобной Солнцу, т. е. звезды среднего возраста, расположенной на главной последовательности диаграммы Герцшпрунга—Рессела. Никого вообще, тем более ученого, не удовлетворяют несколько кадров из середины фильма. Для полного удовлетворения нужно восстановить историю прошлого и предсказать будущее, и хорошая звездная модель должна описать весь жизненный путь звезды, не оставляя никаких сомнений.

История на диаграмме Герцшпрунга — Рессела начинается в правой ее части с того момента, когда из сжимающихся

газов быстро образуется протозвезда. Температура ее поверхности возрастает, и протозвезда начинает светиться. По мере увеличения температуры звезда смещается на диаграмме влево, причем путь звезды средних размеров изгибается в форме рыболовного крючка, после чего она занимает свое место на главной последовательности. Чем больше масса протозвезды, тем более высокой температуры она достигает, прежде чем давление излучения уравнивает силу тяготения. Поэтому первоначальное положение звезды на диаграмме Герцшпрунга—Рессела является указателем ее первоначальной массы. Звезды больших размеров горячее и начинают жизнь на диаграмме выше и левее. Протозвезды проходят свои «рыболовные крючки» юности всего за несколько миллионов лет, что представляет собой мгновение по сравнению с миллиардами лет, которые они проведут на главной последовательности. Так как протозвездная стадия весьма непродолжительна, то диаграмма Герцшпрунга—Рессела фиксирует в момент входа на главную последовательность лишь немногие звезды, из-за чего соответствующие области диаграммы почти пусты.

Через несколько миллиардов лет у звезды на главной последовательности начинается нехватка топлива во внутренней конвективной зоне. В радиационной зоне имеется много топлива, но оно статично и не может попасть в область высокой температуры для участия в процессе «сгорания». Подготовлены все условия для дальнейшего продвижения на диаграмме Герцшпрунга — Рессела, которая теперь становится полезнейшей путеводной картой во времени. Однако это продвижение является предметом серьезных споров. Действительно, чем дальше мы проникаем в прошлое звезды, тем более беспокойным становится наше путешествие. Некоторые теоретики считают, что такие пути звезд на диаграмме еще не продолжены. Ясно только одно — приведенное выше сравнение главной последовательности с «рекой» во времени несостоятельно. В юности и старости звезды отстоят далеко от главной последовательности.

Концентрация звезд в области красных гигантов диаграммы Герцшпрунга — Рессела как бы свидетельствует о существовании «дома престарелых» для звезд, покидающих главную последовательность. В конце концов они сохранили значительное количество топлива, а потому и энергии. Красные гиганты, как указывает их название, звезды **холодные**, но большие и разре-

женные. Они так велики, что кажутся яркими, несмотря на низкую температуру поверхности. Эти звезды совершенно правильно собраны в верхнем правом углу диаграммы Герцшпрунга — Рассела. Пока звездная модель не раскрывает нам природы красных гигантов: их размеры и температура несовместимы с идеей горячих ядерных недр. Если они не образуются непосредственно из протозвезд, то откуда же они берутся? Возможно, существует мост между красными гигантами и главной последовательностью.

Один такой мост был построен в 1939 г. Джорджем Гамовым и Чарльзом Критчфилдом. Этот мост представляет собой полезное и, по-видимому, весьма здоровое расширение общепринятой модели звезды главной последовательности. Предположим, говорят Гамов и Критчфилд, что после главной последовательности звезда «переварила» весь водород своего ядра в гелий, тогда ядро сжимается, превращая гравитационную энергию в тепло, до тех пор, пока температура на краю прежде статичной радиационной зоны достигнет примерно 20 миллионов градусов. На этом краю возобновится термоядерный синтез водорода. Затем реакция может распространиться наружу, сжигая водород и оставляя гелий. Короче говоря, Гамов и Критчфилд предложили переход от «горящего» ядра к «горящей» оболочке. Внутри «горящей» оболочки останется только инертный гелий. Таким образом, наружная область звезды нагреется до более высокой температуры, чем тогда, когда звезда находилась на главной последовательности. Звезда раздуется до колоссальных размеров, и ее внешние слои начнут остывать. Зона «горящей» оболочки будет еще вырабатывать огромное количество энергии, но гигантская внешняя поверхность звезды может легко излучать ее в пространство при более низких температурах, чем у звезды на главной последовательности. Таким образом, эволюционный путь звезды на диаграмме Герцшпрунга — Рассела свернет вправо и пересечет область красных гигантов. Здесь звезда и остановится, увеличиваясь все больше и больше в размерах по мере того, как зона «горящей» оболочки будет приближаться к ее поверхности.

При поисках моста между главной последовательностью и красными гигантами Гамов и Критчфилд встретились с серьезными вычислительными трудностями. С помощью ручных вычислительных машин они могли лишь установить «тенденцию»

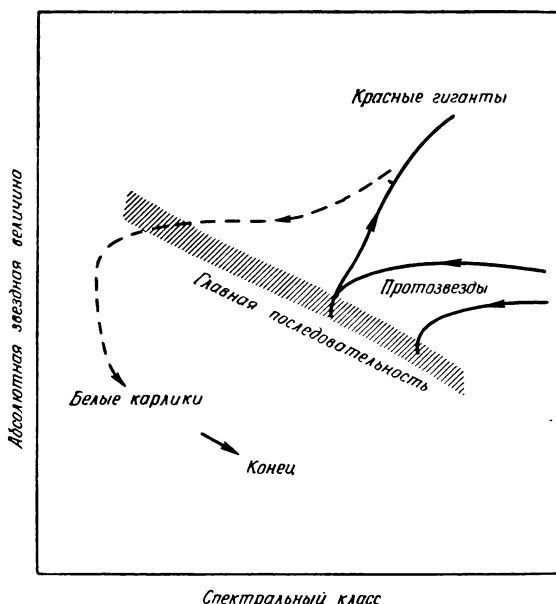


Рис. 18. Эволюционные треки звезд на диаграмме Герцшпрунга — Рессела. Путь от области красных гигантов к белым карликам представляет собой предмет споров.

звезд выйти из главной последовательности приблизительно в направлении области красных гигантов. Когда появились электронные вычислительные машины, существование «моста» подтвердили детальные вычисления.

Более трудным оказалось проследить эволюционный путь звезды из области красных гигантов. Должна ли звезда после израсходования всего водородного топлива внешних областей умереть и стать холодной и инертной? Возможно, и нет, поскольку при достаточно высоких температурах даже гелий может «сгорать» в термоядерных реакциях. Пунктирный эволюционный путь на рисунке ведет вниз, в область белых карликов диаграммы. Вот где, по мнению многих астрономов, находится кладбище звезд. В конце концов, даже белые карлики остывают, звезда движется вправо, сходит с диаграммы Герцшпрунга — Рессела, и на этом ее путь кончается.

Описанная модель звезды имеет много достоинств. Не нарушаются никакие физические законы, интуитивно удовлетворен жизненный цикл звезд, возрасты звезд сравнимы со временем, необходимым геологам и космологам для их теорий, и все рассказанное вполне согласуется с диаграммой Герцшпрунга — Рассела. Для сомневающихся имеются дополнительные подкрепляющие данные, для слишком убежденных — несколько смущающих неожиданных проблем.

Можно ли сказать, что диаграмма Герцшпрунга — Рассела поддерживает только что описанную модель? Конечно, поддерживает. Модель была специально создана для того, чтобы «объяснить» диаграмму («приспособиться» к ней). Если бы это было не так, она бы не заняла своего места в научной литературе. Хорошие, независимые проверки модели весьма малочисленны.

При тщательном рассмотрении звездной модели можно отметить, что она успешно справляется с проблемой возраста звезд. Модель устанавливает, что более крупные звезды входят на главную последовательность левее и что они горячее своих более мелких собратьев. Так как они больше и горячее, они расточительно сжигают свое топливо и, вероятно, быстрее старятся. Действительно, изучение шаровых звездных скоплений, в которых все звезды образовались, по-видимому, одновременно, показывает, что более крупные из них первыми начинают отходить от главной последовательности. Меньшие по размерам звезды расходуют свое топливо не так расточительно и дольше остаются на главной последовательности. Эти наблюдения серьезно подкрепляют нашу модель.

Звездная модель далеко не так успешно объясняет, что происходит с более массивными звездами (массы которых более чем вдвое превосходят массу Солнца) после того, как они покинут главную последовательность. Проблема состоит в том, что на диаграмме Герцшпрунга — Рассела, по-видимому, нет места для их перемещения. Более мелкие звезды движутся вправо вверх и становятся красными гигантами, но на диаграмме очень мало красных сверхгигантов, в которые могли бы превратиться крупные звезды главной последовательности. Они должны куда-то двигаться, но никто не знает точно — куда. Что бы с ними ни происходило, это происходит быстро, иначе мы бы заметили на диаграмме Герцшпрунга — Рассела несколько звезд

в переходном состоянии, которые осветили бы нам судьбу больших звезд главной последовательности.

Уверенность в модели может поколебаться также при рассмотрении проблем новых и сверхновых звезд — колоссальных звездных взрывов, поражавших астрономов на протяжении тысячелетий, и звезд, которые слишком редки, чтобы обратить на себя внимание на диаграмме Герцшпрунга — Рассела, но слишком многочисленны, чтобы их можно было полностью игнорировать, в частности переменные и пульсирующие звезды. В отношении этих звезд наша модель нема. Возможно, это происходит потому, что модель нуждается в дальнейшем развитии и совершенствовании. Теоретики, вооруженные вычислительными машинами, усиленно исследуют все разветвления модели. Только вычислительные машины могут, например, справиться с задачей прослеживания пути множества звезд с различными массами, когда они сжигают свое водородное ядро и начинают отходить от главной последовательности.

В отличие от космологического поля боя, где идет спор конкурирующих моделей, на звездной арене выступает лишь один основной конкурент, способный описать раннюю эволюцию звезды. После того как звезда сходит с главной последовательности, действует несколько разновидностей модели, но все они построены на одном и том же фундаменте. Появляющиеся новые данные могут противоречить современной модели. Если свойства главной последовательности несостоятельны, то рассыплется вся теория звездной эволюции. Никаких широко признанных альтернативных моделей не существует.

Новые экспериментальные данные скорее всего появятся в результате выполнения программы освоения космоса. Крупные обсерватории-спутники, например ОАО (орбитальная астрономическая обсерватория), позволяют астрономам исследовать спектры звезд в далекой ультрафиолетовой и инфракрасной областях, не пропускаемых земной атмосферой. Обзор неба в инфракрасных лучах, например, мог бы выявить холодные протозвезды в процессе их быстрого перемещения с правого края диаграммы Герцшпрунга — Рассела к месту «отдыха» на главной последовательности. Несколько таких «моментальных фотографий» в инфракрасных лучах оказали бы серьезную поддержку нынешней звездной модели. Ультрафиолетовые спектрометры, установленные на борту ракет-зондов, уже за-

фиксируют во время кратковременных полетов ряд вызывающих недоумение явлений. Те немногие звезды, которые наблюдались во время таких полетов, испускают меньше ультрафиолетовых лучей, чем предсказывает наша модель. Некоторые звезды кажутся окруженными особыми ультрафиолетовыми облаками, или «туманностями». Эти открытия, естественно, сильно беспокоят астрономов, поскольку они подрывают их уверенность в одной-единственной пригодной модели. Большинство экспериментов, выполненных с помощью ОАО, само собой разумеется, относится к ультрафиолетовой области спектра. Ракеты открыли на небе также много источников рентгеновского излучения. Объяснение природы звезды, обильно испускающей рентгеновские лучи, может привести к краху модели, так как на диаграмме Герцшпрунга — Рассела нет места для звезд, поверхность которых была бы настолько горяча, чтобы их излучение было в основном рентгеновским.

Весьма возможно, что, когда астрономические обсерватории-спутники расширят наблюдаемый спектр, будет открыто нечто совершенно новое и неожиданное — такое, о чем теоретики с их моделью и не подозревали. На диаграмме Герцшпрунга — Рассела целые новые области могут быть заполнены звездами, невидимыми с Земли из-за того, что их излучение поглощается земной атмосферой. Новые открытия усложняют жизнь теоретика, а непрерывное создание новых моделей на первый взгляд только вносит путаницу и пугает обывателя, ищущего твердых ответов и объяснений. Астрофизика находится на переднем крае науки, где «военные действия» еще не прекратились. Теоретик всегда в опасности, но именно это делает его работу волнующей.

ЛИТЕРАТУРА

- Abetti G., *The History of Astronomy*, Abelard-Schuman, New York, 1952.
 Gamow G., *A Star Called the Sun*, The Viking Press, New York, 1964.
 Glasstone S., *Sourcebook on the Space Sciences*, D. Van Nostrand Company, Princeton, 1965.
 Inglis S. J., *Planets, Stars, and Galaxies*, John Wiley & Sons, New York, 1961.
 Ley W., *Watchers of the Skies*, The Viking Press, New York, 1963.
 McGraw-Hill Encyclopedia of Science and Technology, McGraw-Hill Book Company, New York, 1966, см. *Stellar Evolution*.
 Каплан С. А., *Физика звезд*, 2-е изд., изд-во «Наука», М., 1970.

ОДИННАДЦАТИЛЕТНИЙ ПУЛЬС СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

Древнегреческие астрономы считали Солнце совершенным огненным шаром, не имеющим каких-либо изъянов. Раз в день проплывало оно по небу, безупречное, неизменное и, по-видимому, не обращающее никакого внимания на нашу Землю.

Сегодня мы знаем, что на поверхности Солнца бушуют ураганы протяженностью в десятки тысяч километров и что солнечные «ветры», пролетев сотни миллионов километров, обрушиваются на Землю и другие планеты. Погода на Земле, цены на пшеницу, количество лисьих шкурок, добытых канадскими охотниками, — бесчисленные проявления земной жизни, кажется, бьются в унисон с пульсом Солнца.

Это захватывающий рассказ о причинах и следствиях. Солнечные штормы испускают излучение и горячие ионизованные газы, бомбардирующие Землю, заставляющие колебаться стрелки компасов и освещающие небо полярными сияниями. Приводимая здесь физическая модель цикла солнечно-земных связей довольно сложна, но она ничего не говорит о том, *почему* Солнце обладает одиннадцатилетним циклом.

Оказалось, что под действием «межпланетных сил» соединились два независимых направления исследований — геофизика и физика Солнца.

Потребовались века, чтобы развилась научная дисциплина — физика Солнца, и все потому, что чрезмерно влиятельные греческие философы в свое время объявили Солнце совершенным и неизменным. Зачем тратить время, наблюдая нечто никогда не меняющееся?

Далеко на востоке китайцы не слышали этого заявления эллинов и еще в 28 г. до н. э. описали в своих летописях «птиц», летающих перед Солнцем. Жители западных стран, которые не могли не видеть пятен на Солнце невооруженным глазом, до XVII в. почти о них не думали. Они полагали, что

поскольку религия и философия объявляют Солнце совершенным, то «пятна» эти на самом деле планеты или пары, проходящие между Землей и Солнцем.

В царствование Карла Великого население Франции восемь дней подряд видело на Солнце большое черное пятно. Ученые того времени, если их так можно было назвать в VIII в., заявили, что пятно — это планета Меркурий. Догадка была не такой уж глупой, так как Меркурий действительно иногда проходит по диску Солнца, но пересекает он его всего за несколько часов.

С изобретением телескопа пятна поместили туда, где они должны были находиться, — на поверхность Солнца. Хотя Галилей, по-видимому, еще в 1610 г. наблюдал в свой телескоп пятна, первое сообщение о результатах их наблюдений опубликовал в 1611 г. немецкий астроном Иоганн Фабрициус (латинизированная фамилия Гольдшмидт). Третьим в тот период наблюдал Солнце в телескоп священник Кристоф Шейнер, работавший в Ингольштадте, Верхняя Бавария. Шейнер уперся в стену аристотелевского диктата о незапятнанности Солнца, получив от своего церковного начальства заверения в том, что ошибается либо его телескоп, либо его зрение. Галилей проник в суть вопроса. В серии писем 1612 г., комментирующих наблюдения Фабрициуса, Галилей подробно описал неправильную форму солнечных пятен, их возникновение, распад и правильное перемещение по диску Солнца. Но самое важное, он подчеркнул, что пятна — это явления на *поверхности* Солнца, а не звезды или обращающиеся вокруг Солнца тела.

Обнаружив, что Солнце поражено каким-то видом оспы, ученые стали усиленно пытаться объяснить этот дефект. В 1613 г. Кеплер заявил, что изменчивость пятен указывает на их облачную природу, но что земные аналогии здесь, видимо, мало могут помочь. Прошло еще 250 лет, пока люди поняли, что в действительности Солнце представляет собой гигантскую тепловую машину со сложной, турбулентной поверхностью. Солнечные пятна — лишь самые заметные проявления солнечной активности.

Прежде чем изучить внутренние процессы в пятнах, следует рассмотреть вопрос об их периодических изменениях. Периодичность солнечных пятен привела к установлению причинных связей между солнечными и земными событиями. Когда

два объекта находятся друг от друга на расстоянии 150 миллионов километров, должен существовать какой-то осязаемый «мост», если событие *A* на Солнце связывается с событием *B* на Земле. Такой мост Земля—Солнце был построен на основе данных о синхронной периодичности солнечных и земных явлений.

Первые наблюдатели солнечных пятен считали, что они имеют неправильную форму, непредсказуемы и, по-видимому, не могут внести ничего нового в наше понимание природы. Открытие их периодичности произошло неожиданным образом. Немецкий аптекарь Генрих Швабе был страстным любителем астрономии. Размышляя о том, какое бы придумать себе астрономическое занятие на свободные дневные часы, он натолкнулся на мысль тщательно наблюдать диск Солнца с тем, чтобы обнаружить новую неоткрытую планету во время ее прохождения по яркому изображению. Швабе начал осуществлять свой замысел в 1826 г. Когда оказалось, что новые планеты не появляются, он занялся солнечными пятнами. Каждый солнечный день в течение семнадцати лет он с бесконечным терпением рисовал непрестанно меняющуюся картину пятен, которую он видел на диске Солнца. К 1843 г. он пришел к выводу, что количество солнечных пятен возрастает и уменьшается с 10-летним периодом. Однако его открытие в общем игнорировали как случайные и сомнительные данные из ненадежного источника. Тем не менее открытие было сделано и осталось частью научного наследия, которое кто-то мог подхватить и использовать.

В то время как большинство астрономов XIX в. было занято поисками новых планет, геофизики изучали землетрясения, извержения вулканов и погоду в нижних слоях атмосферы. Влияние солнечной активности на эти крупномасштабные явления окружающей нас действительности незначительно, кроме, пожалуй, погоды. Проблема влияния солнечной активности на погоду была на протяжении веков похоронена под грузом несистематических, не связанных друг с другом данных. Хотя засуху в Италии 1632 г. и связывали с отсутствием пятен на Солнце, представлялось, что отыскивали удобного «козла отпущения» для погоды.

Связывание солнечных и земных явлений зависело не только от признания существования некоего физического

«моста», помимо гравитации, но также от *систематического анализа* какой-то стороны земной действительности, на которую Солнце *сильно и непосредственно* влияет. Никто не искал геофизического явления с такими свойствами. Астрономы и геофизики до начала XX в. очень мало общались друг с другом. Науке еще повезло, что она узнала о влиянии Солнца на Землю не позже, чем это произошло в действительности.

Важную роль в наведении моста Солнце—Земля сыграло мощное воздействие Солнца на магнитное поле Земли. Директор мюнхенской обсерватории шотландско-немецкий астроном Иоган фон Ламонт подметил десятилетнюю периодичность в ежедневных записях отклонений магнитной стрелки компаса. На его геофизические наблюдения сразу же обратили внимание два других астронома: Альфред Готье в Женеве и Рудольф Вольф в Цюрихе. Они поняли, что эта десятилетняя геомагнитная периодичность совпадает с найденной Швабе подозрительной десятилетней периодичностью солнечных пятен. Ухватившись за эту идею, Вольф запросил многих известных ученых о наблюдениях солнечных пятен, выполненных до Швабе. Первая публикация, связавшая солнечную и магнитную активность, появилась 18 марта 1852 г. и принадлежала еще одному специалисту, генерал-майору Эдварду Сабину, который представил Королевскому обществу доклад о магнитных измерениях, проведенных им в Канаде. Доклад назывался: «О периодических законах, подмеченных в средних эффектах сильных магнитных возмущений». Доклад Сабина не был немедленно опубликован, да и название его не должно было привлечь внимания астрономов. Все же через некоторое время Вольф получил в Цюрихе доклад Сабина и начал детальное исследование периодичности солнечных пятен. Когда он объявил, что средняя периодичность солнечных пятен составляет $11\frac{1}{9}$ года *, шотландский астроном Джон Аллен Браун ответил, что это неправильно, так как магнитные изменения совершаются с периодичностью в 10,45 года и Солнце *должно* подчиняться этому правилу. Браун считал, что Земля может контролировать солнечную деятельность.

* На самом деле продолжительность периода меняется от 7 до 16 лет.

Похоже, что люди были загипнотизированы корреляциями, так как им казалось, что, устанавливая связь двух явлений, они объясняют оба. Доклад Сабина был началом невероятнейшего потока публикаций, пытавшихся связать между собой действительно связанные, относительно связанные и абсолютно несвязанные явления, начиная с того момента, когда первые астрологи выделили на небе зодиакальные созвездия. Казалось, что почти все можно было связать с периодичностью солнечных пятен, и это приносило такое же удовлетворение, как древним грекам мысль о неизменности и незапятнанности Солнца.

Первые корреляции были достаточно разумны. В 1870 г. профессор Йельского университета Элиас Лумис установил связь магнитных бурь и числа наблюдаемых полярных сияний с периодичностью солнечных пятен. Современная наука обычно в состоянии выявить причину и следствие в этих случаях, но в 1870 г. казалось полной тайной, как может Солнце на расстоянии 150 миллионов километров «трясти» магнитное поле Земли и зажигать полярные сияния.

Исследование колец деревьев вскоре показало, что деревья растут быстрее в годы максимума солнечных пятен, цены на пшеницу понижаются, свидетельствуя об обильном урожае. По-видимому, существует какой-то еще не обнаруженный солнечный фактор, стимулирующий более быстрый рост растений, когда лик Солнца усеян пятнами. Может быть, выпадает больше дождей? Итальянцы оказались чрезвычайно догадливыми, когда винили в засухе 1632 г. отсутствие пятен на Солнце. Джордж Гамов в своей книге «Звезда, названная Солнцем», отмечает, что число рысьих и лисьих шкурок, приобретаемых Компанией Гудзонова залива, возрастает, когда на Солнце много пятен. Возможно, говорит немного иронически Гамов, это происходит потому, что в такие периоды полярные сияния бывают ярче и предоставляют больше возможностей для благоприятной охоты во время долгих полярных ночей.

Еще более странным представляется грубое совпадение максимума солнечных пятен с французской и русской революциями, обеими мировыми войнами и корейским конфликтом. Периодичность солнечных пятен стала даже орудием представителей различных религиозных культов. В 10-х и 40-х годах нашего века было очень модно связывать с этой периодичностью биржу и даже будущее человечества. На некоторое время

периодичность вытеснила даже Нострадамуса. Несомненно, существует много тонких связей между земными и солнечными явлениями, которые мы еще не в состоянии обнаружить или признать из-за имеющихся предрассудков. Если Солнце в состоянии стимулировать рост растений, то не исключено, как говорил Шекспир, что в деятельности людей *существуют* приливы — приливы с периодичностью в 11 лет.

Что же представляет собой солнечная активность и как она может влиять на Землю через пустое пространство? Какова современная *модель* (выражаясь терминами нашей книги) солнечно-земных связей?

Что касается собственно солнечных пятен, то в XVIII в. их считали темными вершинами, проглядывающими сквозь фотосферу Солнца во время «отливов» светящегося вещества. Это интересная земная аналогия, показывающая примитивность представлений солнечной физики в то время. Затем появилась мысль, что солнечные пятна являются отверстиями в фотосфере. Эта догадка гораздо ближе к современным взглядам, но сейчас мы знаем, что солнечные пятна кажутся темными лишь по сравнению с окружающей чрезвычайно яркой поверхностью. Пятна — это не дыры в фотосфере, сквозь которые просвечивает находящаяся под ней солнечная поверхность, а более холодные, но все же сравнительно яркие участки фотосферы.

Солнечные пятна начинают свое существование в виде маленьких темных *пор*, имеющих в поперечнике «только» около двух тысяч километров. За несколько дней *пóра* становится полноправным пятном, достигая максимального развития недели через две. Диаметр среднего солнечного пятна около 50 000 км (*в четыре раза больше диаметра Земли*). Большое пятно может растянуться по поверхности Солнца на 130 000 км. Иногда большие пятна живут целых три месяца, а затем начинают уменьшаться и исчезают; продолжительность жизни маленьких пятен измеряется днями. Обычное солнечное пятно имеет темную центральную область, называемую *тенью*, которая окружена сероватым ободком — *полутенью*. Одинокое пятно очень похоже на отверстие в фотосфере, поэтому легко понять происхождение ранних ошибочных представлений. В общем пятна напоминают также водовороты или вихри в турбулентной жидкости. Возможно, это своего рода оптический обман, но он послужил толчком к созданию нескольких вихре-

вых моделей солнечных пятен, одну из которых мы кратко опишем.

Не одиночное солнечное пятно, а их общее поведение позволяет нам близко подойти к проблеме их происхождения. Солнечные пятна обычно образуют группы, причем в большую группу входит до сотни пятен различных размеров. Такая группа может вытянуться более чем на 300 000 км по диску Солнца. Диаметр Солнца составляет 1 300 000 км, так что большая группа пятен растягивается на четверть диска и легко видна невооруженным глазом.

Другие общие особенности активности солнечных пятен подсказывают некоторые мысли об их природе и происхождении. В среднем солнечные пятна появляются в северном и южном полушариях Солнца в равных количествах и почти в одно и то же время. Часто появляются пары на одинаковом расстоянии от солнечного экватора. Любая модель солнечных пятен должна объяснять эту симметрию. Интуиция, в частности, подсказывает, что пары солнечных пятен, совместно движущиеся по диску Солнца, могут быть связаны друг с другом под видимой поверхностью Солнца. Другой общей особенностью солнечных пятен является их движение слева направо по диску Солнца; это происходит в основном из-за вращения Солнца вокруг своей оси. Более специфичное их свойство — появление новых пятен в высоких широтах в начале 11-летнего цикла и в низких широтах к концу цикла. Часто начинают образовываться пятна нового 11-летнего цикла еще в то время, когда вблизи экватора сохраняются пятна предыдущего цикла. Следовательно, циклы солнечных пятен не разделяются так резко, как день и ночь, — два цикла могут накладываться друг на друга во времени.

Чем больше данных становится известно о цикле солнечных пятен, тем более таинственной представляется вся проблема в целом. Чисто визуальные наблюдения не позволили глубоко в нее проникнуть, и для создания хотя бы грубой модели их следует дополнить другими данными. Необходимо было воспользоваться спектроסקопом.

Спектр солнечных пятен характеризуется гораздо более сильными линиями поглощения молекул, чем спектр соседних свободных от пятен участков поверхности Солнца. Это наблюдение подтверждает мнение, что солнечное пятно холоднее

окружающей яркой фотосферы, поскольку именно высокая температура разрушает большие молекулы. Другим подкреплением такому истолкованию служат более слабые линии излучения атомов в спектрах солнечных пятен. Сравнительно низкие температуры солнечных пятен не способствуют интенсивному излучению атомов с высокими энергиями возбуждения. Спектроскоп не говорит о том, что состав солнечных пятен отличается от состава других областей Солнца. Пятна просто холоднее. Сам по себе этот факт мало помогает раскрытию тайны солнечных пятен.

Важный вклад в спектроскопию был сделан в 1896 г. голландским физиком Питером Зееманом, открывшим, что сильные магнитные поля вызывают расщепление спектральных линий излучения на несколько составляющих. Степень расщепления и является мерой напряженности магнитного поля. Еще примерно в середине XIX в. было замечено раздвоение некоторых линий излучения в спектрах солнечных пятен. Американский астроном Джордж Хейл связал в 1908 г. эти наблюдения с открытием Зеемана. Выполненные Хейлом измерения расщепления линий излучения показали, что напряженность магнитного поля солнечных пятен может достигать 3000 гаусс и более. Эта величина была чрезвычайно высока по сравнению со средней напряженностью магнитного поля на поверхности Солнца, равной примерно 1 гауссу, и на поверхности Земли, не превышающей $1/2$ гаусса. Еще более поразительными оказались полярности магнитных полей солнечных пятен: они были противоположными у каждого члена пары пятен. Более того, полярности менялись с каждым новым поколением солнечных пятен. Теперь к парной симметрии пятен добавилась их *би-полярность*, подтверждающая тем самым предположение, что пары как-то связаны между собой с помощью подповерхностной структуры, проходящей под экватором Солнца, поскольку северные магнитные полюсы не могут существовать без связанных с ними южных полюсов.

Таковы основные данные, которые следует использовать для построения модели солнечных пятен, однако, по мнению большинства исследователей Солнца, еще никому не удалось связать их убедительным образом. Объяснение физической структуры солнечных пятен, возможно, удастся найти сравнительно новой науке *магнитогидродинамике*, или *МГД*.

МГД описывает движение высокоионизованных электропроводящих газов, называемых *плазмой*. Так как плазмы проводят электрический ток, то на них сильно действуют магнитные поля, и в земных лабораториях плазму можно захватывать и хранить в *магнитных бутылках*. С другой стороны, движущаяся плазма создает свои собственные магнитные поля, подобно току, движущемуся по обмотке электромагнита. При температуре солнечной поверхности (около 6000°C) водород и гелий, составляющие большую часть массы Солнца, безусловно высокоионизованы и поэтому представляют собой плазму*. МГД позволяет нам довольно глубоко исследовать физически возможные движения горячей солнечной плазмы, но это наука молодая, а бурлящее Солнце показало себя весьма непокорным. В настоящее время можно сказать лишь, что пара солнечных пятен является, вероятно, какой-то сравнительно устойчивой плазменной структурой, возможно, подобной вихревой трубе, изображенной на рисунке. Вращающаяся труба токопроводящей жидкости представляет собой в действительности электромагнит, создающий сильное магнитное поле солнечного пятна, или, что не менее вероятно, поле создает вихрь. Здесь трудно отделить причину от следствия. В первом случае должна быть найдена механическая причина, периодически вызывающая турбулентность, во втором — какой-то одиннадцатилетний магнитный механизм.

По-видимому, солнечный краеугольный камень нашей модели солнечно-земных связей подогнан непрочно, поэтому и вся модель выглядит несколько сомнительной. Так как еще надежно не установлена физическая структура солнечного пятна, трудно представить себе происхождение моста, связывающего Солнце с Землей. Мост должен выходить из какого-то места на Солнце и расти и сокращаться синхронно с солнечным циклом. Мы не будем стремиться к излишней точности и спрячем проблему выявления точной причины за фасадом обобщений. Обобщение начинается с того, что широкий круг переходящих солнечных явлений мы называем *центром активности*

* Это неверно. Водород, а тем более гелий при этой температуре не ионизированы. Но вещество атмосферы Солнца действительно есть плазма, так как ионизованы атомы более тяжелых элементов (углерод, натрий и т. п.), а этого достаточно, чтобы сделать газ хорошим проводником электричества. — *Прим. ред.*

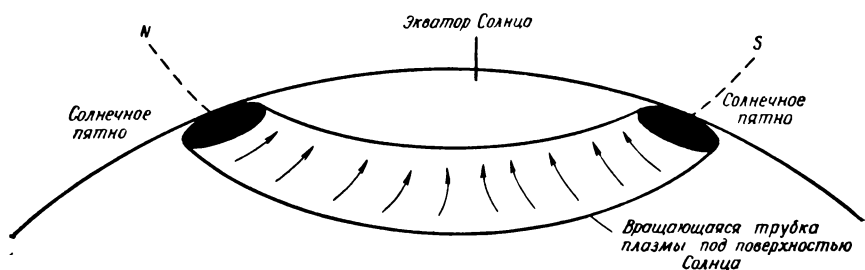


Рис. 19. Возможная модель солнечного пятна. Вращающаяся трубка плазмы образует в противоположных полушариях Солнца два холодных темных пятна. Вращающаяся трубка создает также магнитные поля противоположной полярности, что и требуется для объяснения наблюдений.

или ЦА. Типичными особенностями центра активности являются солнечные пятна, протуберанцы, вспышки, факелы и вообще почти все необычное. Поскольку для земного наблюдателя наиболее заметными объектами ЦА являются солнечные пятна, активность всего Солнца независимо от характера этой активности измеряется числом пятен. Чем больше пятен, тем выше солнечная активность и тем более ярко выражены возмущения, вызываемые Солнцем на Земле. Возможно, солнечные пятна непосредственно и не вызывают земной активности, а только служат мерилom какой-либо менее явной причины.

До появления искусственных спутников самыми явными проявлениями воздействия солнечной активности на Землю были магнитные бури (обнаруживаемые по колебаниям стрелки компаса), перебои в дальней радиосвязи и, наконец, захватывающие дух полярные сияния, обычно совпадающие с магнитными бурями. Ученые быстро связали появление вспышки на поверхности Солнца с происходящим спустя несколько секунд нарушением дальней радиосвязи. Не оставалось ни малейшего сомнения в том, что коротковолновое электромагнитное излучение вспышки глубоко проникает в земную атмосферу и вызывает ионизацию воздуха. При обычных условиях излучение Солнца создает хорошо известные слои ионосферы, расположенные на высотах больше 80 км над земной поверхностью. Эти слои, состоящие из свободных электронов и ионов, скорее

способствуют, чем препятствуют дальней радиосвязи. Однако излучение солнечной вспышки происходит на более короткой волне и проникает в атмосферу глубже (до высоты 65 км), т. е. настолько глубоко, что происходит поглощение радиоволн, отдающих свою энергию свободным электронам, которые быстро сталкиваются с молекулами окружающей довольно плотной атмосферы. Этот ионизованный слой радиоволны не отражает. Кроме того, под действием излучения вспышки в атмосфере возникают сильные кратковременные электрические токи. Эти токи частично порождают недолговечные магнитные поля, которые в свою очередь вызывают колебания стрелок компасов на Земле. Если эти магнитные возмущения достаточно сильны, в длинных телефонных проводах, опутывающих континенты, индуцируются электрические токи, нарушающие и телефонную связь на дальних расстояниях. В эпохи высокой активности Солнца связь на дальние расстояния на Земле бывает иногда прервана в течение нескольких дней подряд. В случае внезапных ионосферных возмущений причину и следствие выявить легко.

Главная фаза магнитных бурь наступает примерно через *двадцать часов* после визуально замеченного проявления солнечной активности — обычно яркой вспышки. Разделив расстояние до Солнца на время прохождения его возмущающим фактором, мы получим скорость, значительно меньшую, чем скорость электромагнитного излучения, вызывающего внезапные возмущения. Этот новый фактор должен быть каким-то видом медленно движущегося корпускулярного излучения, возможно облаком плазмы, выброшенным Солнцем во время извержений на его поверхности.

До запусков искусственных спутников представление о языках солнечной плазмы, охватывающих Землю, было чисто умозрительным. Тесно связанная с этим идея о *кольцевом электрическом токе* из заряженных солнечных частиц, окружающем Землю, захваченном и удерживаемом земным магнитным полем, была высказана еще в 1904 г. норвежцем Карлом Штёрмером, не имевшим в то время экспериментальных доказательств. Немецкий ученый Адольф Шмидт выдвинул в 1916 г. идею магнитного захвата для объяснения главной фазы магнитной бури. Уже тогда, не имея ни малейших прямых доказательств, теоретики считали Солнце источником за-

ряженных частиц. В 1958 г. молодой физик Чикагского университета Е. Н. Паркер провел исследование солнечной короны, которое показало, что из Солнца исходит *непрерывный* поток плазмы.

Этот поток поднимается выше любых облаков или языков плазмы, извергаемых солнечными ЦА. Обнаруженный Паркером непрерывный поток плазмы был назван *солнечным ветром*. Он постоянно «обдувает» Землю.

Первые искусственные спутники Земли не производили непосредственных измерений непрерывной и нестабильной солнечной плазмы; их орбиты были значительно ниже обнаруженной позднее структуры, названной *магнитопаузой*. Однако первые же спутники «Эксплорер» открыли *радиационные пояса*, расположенные внутри магнитопаузы *. Только когда космические ракеты и искусственные спутники с очень эксцентричными орбитами начали пронизывать защитную оболочку магнитопаузы, инструменты стали измерять уже предсказанные солнечный ветер и языки плазмы. Эти эксперименты надежно установили, что носителем воздействия Солнца на Землю является солнечная плазма. Измерения скорости водородной плазмы подтвердили расчеты Паркера. Плотность солнечного ветра достигает 10—20 частиц в одном



Рис. 20. Схема солнечного плазменного языка, возникшего в центре активности солнечной поверхности. Если язык охватывает Землю, то обычно наблюдаются магнитные бури, полярные сияния и ионосферные возмущения. Космическая ракета может передать по радио предупреждение о приближении языка.

* Радиационные пояса были независимо и несколько ранее обнаружены при помощи второго советского искусственного спутника Земли. — Прим. ред.

кубическом сантиметре. Несмотря на эту победу, теоретики были поражены сложностью и геометрической формой обрисованных искусственными спутниками поверхностей, которые частично изолируют Землю от межпланетной «погоды» и творца этой «погоды» — Солнца.

В течение первого десятилетия космической эры ракеты и спутники, снабженные магнитометрами и детекторами плазмы, обрисовали геомагнитную полость в форме капли с длинным «хвостом», тянущимся на сотни тысяч километров от Земли. Этот хвост не тянется за Землей во время ее движения вокруг Солнца, а скорее «сдувается» солнечным ветром в направлении, *противоположном Солнцу*. Астрономы считают теперь, что солнечный ветер отбрасывает хвосты комет от Солнца.

Граница геомагнитной полости, *магнитопауза*, представляет собой на самом деле ударный фронт, образованный столкновением (лучше сказать «взаимодействием») быстро движущейся солнечной плазмы с магнитным полем Земли. Именно взаимодействие солнечной плазмы с магнитными силовыми линиями Земли и создает магнитосферу обтекаемой формы. Сходными во многих отношениях свойствами обладает ударная волна, окружающая снаряд, движущийся в атмосфере со сверхзвуковой скоростью; однако солнечный ветер имеет скорость 2400 км/сек и настолько разрежен, что создает минимальное противодействие движению искусственных спутников Земли, хотя и сказывающееся на многих орбитах.

Внутри безопасной гавани магнитопаузы гораздо спокойнее, чем в открытом межпланетном море. Некоторые частицы солнечного ветра с большей энергией не отклоняются полем Земли, а проникают в магнитопаузу, захватываются в радиационные пояса и, по-видимому отклоняются в полярные зоны, где, сталкиваясь с атомами верхних слоев атмосферы, вызывают их свечение — полярные сияния.

Солнечный ветер — не единственный источник заряженных частиц в поясах. Земному магнитному полю нелегко отклонить космические лучи, обладающие значительно большей энергией, чем частицы солнечной плазмы. Многие из них легко проникают в магнитосферу и останавливаются где-то в атмосфере или в твердой Земле. Космические лучи, сталкивающиеся с атомами воздуха в верхних слоях атмосферы, вызывают ядерные

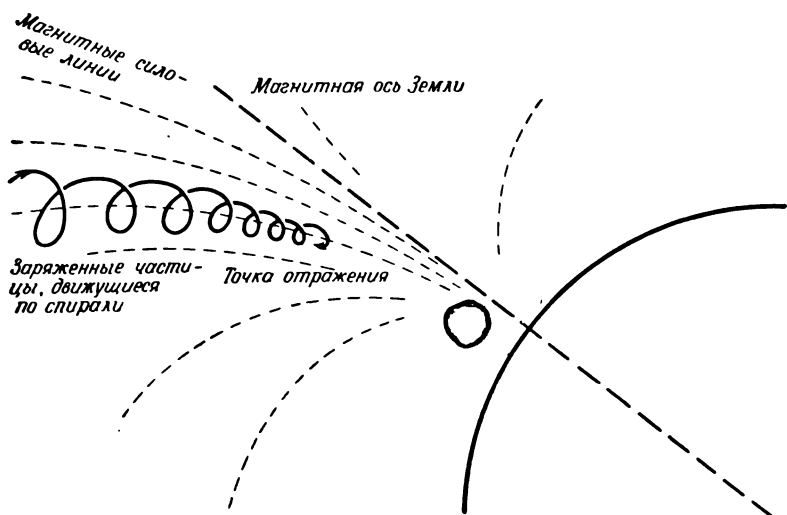


Рис. 21. Схема, показывающая отражение заряженных частиц радиационных поясов в полярных областях, где сходятся магнитные силовые линии. Такие магнитные «зеркала» захватывают заряженные частицы. Если частицы сталкиваются с атомами полярной атмосферы, то они выбрасываются из радиационных поясов.

реакции, порождающие нейтроны, часть которых проходит сквозь радиационные пояса. Нейтрон представляет собой неустойчивую частицу с полупериодом распада всего в 12 минут. Многие нейтроны возникают при столкновении космических лучей с атмосферой, сопровождающемся распадом лучей на электроны, протоны и нейтроны в области радиационных поясов. Электроны и протоны часто захватываются магнитным полем и пополняют населения поясов. Слово «пополняют» здесь вполне подходит, так как электроны и протоны, захваченные в пояса, также непрерывно теряются, сталкиваясь с молекулами верхних слоев полярной атмосферы.

Частицы радиационных поясов, таким образом, пополняются двумя основными способами: солнечной плазмой, проникающей сквозь магнитопаузу, и нейтронами, являющимися продуктами распада при столкновении космических лучей с атмосферой. Одним из самых значительных вкладов

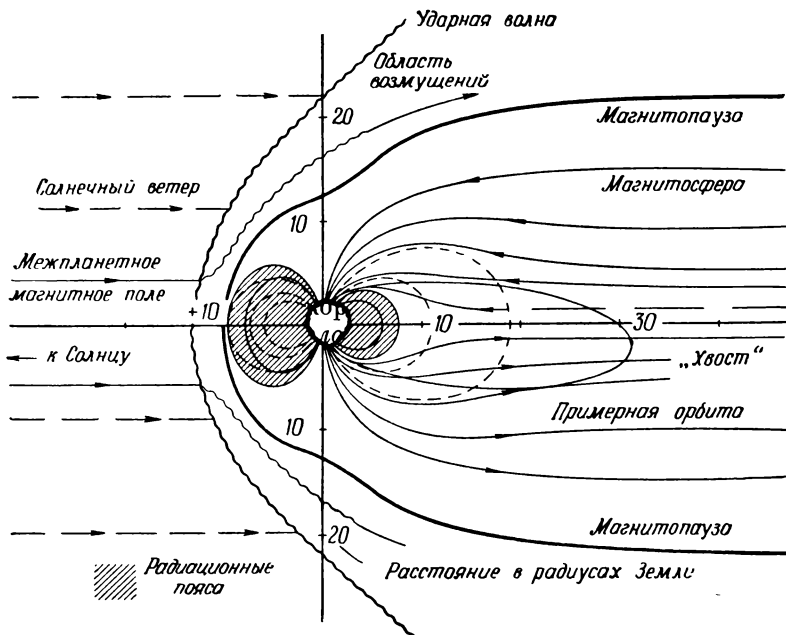


Рис. 22. Современное представление о магнитопаузе, созданной взаимодействием потока солнечной плазмы и магнитного поля Земли. «Хвост» Земли, вероятно, тянется даже дальше Луны.

искусственных спутников в геофизику было определение структуры радиационных поясов. Вырисовалась следующая картина поясов: электроны и протоны движутся назад и вперед по спиральям вдоль силовых линий магнитного поля Земли, отражаясь от одного полюса к другому. Отражение заряженных частиц происходит, когда магнитные силовые линии сходятся у полюсов. В лаборатории такое магнитное отражение часто используется для удержания плазмы в *магнитных бутылках*. Чем глубже захваченные частицы проникают в полярную атмосферу, тем более вероятно, что они столкнутся с молекулой воздуха и будут выбиты из пояса. Как уже упоминалось, именно это взаимодействие захваченных частиц и атмосферы, по крайней мере частично, вызывает полярные сияния. Эта идея прекрасно согла-

суется с теоретической моделью, представляющей солнечную плазму главной причиной полярных сияний. Захваченные частицы, которые сразу же не удаляются из поясов в полярных областях, отражаются взад и вперед, пока они существуют и процесс этот может длиться несколько сотен лет. Отражение от полюса к полюсу занимает лишь около секунды. На быстрое отражение частиц от полюса к полюсу накладывается постоянное движение электронов и протонов вокруг Земли, что создает непрерывную оболочку из частиц, стремительно несущихся между магнитными полюсами. Протоны движутся с востока на запад, а захваченные электроны — в противоположном направлении.

Панорама магнитосферы и ее содержимое выглядят довольно величественными, но остается много нерешенных проблем. Еще далеко не достаточно известны детали переноса частиц между солнечной плазмой, радиационными поясами, ионосферой Земли и верхними слоями земной атмосферы. Частицы, «сброшенные» в области полярных сияний, конечно, способствуют их возникновению, но, по-видимому, не они одни вызывают это явление. Ситуация аналогична положению в метеорологии, где основные процессы хорошо известны, а детали ускользают из рук. Что же касается влияния Солнца на рост растений, земную погоду, цены на лисьи шкурки, не говоря уже о бирже и других проявлениях человеческой деятельности, то пока не существует никаких достойных внимания моделей*.

Суммируя изложенное, можно сказать, что существуют три основные составные части модели системы Солнце — Земля. На «причинном» конце цепочки причин и следствий находится периодичность солнечной активности, которая является причиной многих периодических явлений земной активности; но физические процессы, происходящие на Солнце и вызывающие подъемы и спады некоторых явлений на Земле, еще далеко не достаточно понятны. Непонятен также «заводной механизм», контролирующей 11-летнюю периодичность солнечной активности. Вторая часть модели, мост Солнце — Земля,

* В последнее время много говорят и о влиянии солнечной деятельности на здоровье человека (вроде бы с периодом в одиннадцать лет меняется число инфарктов и автомобильных катастроф,) а моделей такого влияния действительно нет. — *Прим. ред.*

находится в гораздо лучшем состоянии. Мост, по которому влияние процессов на Солнце передается на Землю, имеет две составляющие: коротковолновое электромагнитное излучение, вызывающее внезапные ионосферные возмущения, и языки солнечной плазмы, выбрасываемые Солнцем в эпохи активности. На земном конце моста искусственные спутники и ракеты обрисовали каплевидную магнитосферу и установили пути некоторых заряженных частиц с момента их проникновения в магнитопаузу до замедления и остановки в атмосфере. Общая картина земной активности, вызываемой Солнцем, кажется разумной, но еще предстоит объяснить, например, такие вечно ускользающие детали, как цвета и структуры полярных сияний.

В цепочке причин и следствий имеется больше звеньев, чем это представляется с первого взгляда. Ведь полное описание проблемы должно было бы начинаться с объяснения, почему существует 11-летняя периодичность солнечной активности, а не с простой констатации факта ее существования. Возможно, что в Солнце происходят какие-то естественные внутренние возмущения, повторяющиеся каждые 11 лет, подобно тому как по расписанию происходят извержения гейзера «Старый Ворчун» из-за естественного повышения давления пара. Возможно также, что существует внешняя причина солнечной активности. Для того чтобы мы считали ее убедительной, она должна носить периодический характер, но единственное периодическое явление вне Солнца и при этом достаточно близкое к нему, чтобы оказать на него влияние, — движение планет солнечной системы. При обращении планет вокруг Солнца их гравитационные поля, возможно, возмущают поверхность Солнца так же, как Луна вызывает приливы и отливы в морях и в твердой оболочке Земли. В частности, можно было бы ожидать заметных эффектов в тех случаях, когда две самые большие планеты — Юпитер и Сатурн — находятся на одной прямой, усиливая действие друг друга. Идея эта не нова: с 1900 г. она время от времени проникает на страницы научных журналов.

«Возврат к астрологии», — скажет проницательный читатель. Если положения планет контролируют солнечную активность, а она в свою очередь влияет на различные земные дела, то, значит, наука подтверждает, что в словах предсказателей на протяжении двух тысяч лет все же содержалась какая-то истина. Конечно, мысль о том, что планеты могут быть причи-

ной солнечной активности, — только *гипотеза*, от которой завтра могут и отказаться. Далее, хотя некоторые ученые ужаснутся, если наука поддержит астрологию после многих веков ожесточенной борьбы и ледяного презрения, найдется немало таких, которым понравится юмор ситуации. Если в астрологии имеется хоть *малая* доля правды, то задача заключается в том, чтобы объяснить эту правду научными терминами и сорвать все мистические покрывала. Можно привести много примеров, в частности в области медицины, когда ученым с неохотой пришлось признать существование рационального зерна в словах старых бабок и в простых народных средствах.

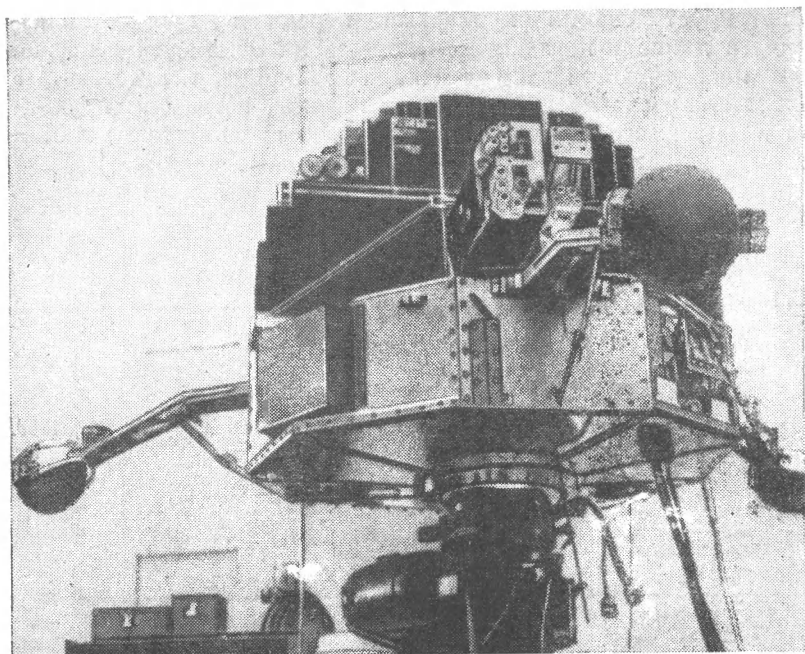
Что говорит физика о способности планет возбуждать бури на солнечной поверхности? На первый взгляд Солнце кажется настолько больше планет, что их гравитационный эффект выглядит слишком слабым. Суммарная масса всех планет и астероидов достигает лишь примерно 0,1% массы Солнца, и большая ее часть сосредоточена в Юпитере и Сатурне. Никто не сомневается в том, что гравитационные силы, исходящие от Юпитера и Сатурна, *могут* вызвать приливные эффекты на Солнце; вопрос на самом деле состоит в том, как эти малые силы вызывают на Солнце такие бурные явления, как группы солнечных пятен протяженностью в сотни тысяч километров. Не было предложено ни одного физического механизма, кроме гравитационной турбулентности.

Самым убедительным аргументом защитников влияния планет является периодичность воздействия гравитационных сил на Солнце. Если связать все уравнения, описывающие движения планет вокруг Солнца, с уравнениями, описывающими воздействие гравитации на поверхность Солнца, то обнаруживается отчетливо выраженный цикл продолжительностью в 11,08 года. Р. М. Вуд и К. Д. Вуд, опубликовавшие эти результаты в номере английского журнала «Nature» от 9 октября 1965 г., утверждают также, что влиянием планет можно объяснить смену магнитной полярности пятен, появление пятен новых циклов на одной и той же солнечной широте и другие циклы, выявленные с помощью статистики солнечных пятен. Последний пункт относится к тому факту, что периодичность солнечных пятен лишь *в среднем* составляет 11 лет, а на самом деле может колебаться от 7 до 16 лет. Эти колебания можно объяснить, предположив, что существуют другие

циклические эффекты, накладывающиеся на основной 11-летний цикл, которые могут ускорять или замедлять наступление максимумов солнечных пятен. В работе Вудов показано также, что внутренние планеты (от Меркурия до Марса) играют важную роль в определении гравитационных сил, действующих на Солнце. Это связано с тем, что хотя массы внутренних планет гораздо меньше массы Юпитера, они расположены гораздо ближе к Солнцу.

Поддержать эту гипотезу (или модель), претендующую на объяснение солнечной активности, можно, только вооружившись карандашом, бумагой и вычислительной машиной. Эксперименты с планетами и гравитацией пока не в нашей власти, по крайней мере сейчас. В качестве иллюстрации английский ученый Д. Кинг-Хили предсказал на основании совместного гравитационного влияния планет даты и интенсивности следующих двух максимумов солнечных пятен. «Теоретические эксперименты», подобные этому, могут в конце концов убедить скептически настроенный ученый мир, или, наоборот, некоторые вычисления могут сокрушить устои рассматриваемой гипотезы. Если предсказания Кинг-Хили осуществляются, ряды защитников гипотезы пополнятся.

Менее противоречивые звенья цепочки причин и следствий в системе Солнце — Земля исследуются сейчас с помощью космических ракет. Солнце — звезда, подобная уже описанным в предыдущей главе, излучает много энергии в рентгеновской и ультрафиолетовой областях спектра. Эти лучи не пропускаются нашей атмосферой, вследствие чего искусственные спутники и космические ракеты стали важными лабораториями солнечной физики. Запущено уже несколько орбитальных солнечных обсерваторий (ОСО). Инструменты для регистрации ультрафиолетового и рентгеновского излучений, установленные на таких искусственных спутниках, снова и снова «разглядывают» диск Солнца по зигзагообразной линии и дают изображение Солнца (в том числе и центров активности) в лучах, которые никогда не доходят до поверхности Земли. Космические ракеты типа «Маринер-4» и «Пионер-6» передают по радио результаты измерений потока солнечной плазмы и связанных с ним магнитных полей между Солнцем и Землей. Пролетая близ Земли, космические лаборатории типа орбитальной геофизической обсерватории (ОГО) проходят непосредствен-



Р и с. 22. Фотография орбитальной солнечной обсерватории (ОСО). Инструменты, установленные на «крыле», движутся взад и вперед, обозревая диск Солнца и регистрируя его структуру на длинах волн, которые никогда не доходят до наблюдателей на Земле. Девятиугольное основание имеет в поперечнике 112 см.

но сквозь радиационные пояса, полярные сияния и магнитопаузу. Для производства измерений *на месте* в ионосферу и области полярных сияний также запускают ракеты с телеметрической аппаратурой. Подтверждение или опровержение тех или иных деталей модели Солнце — Земля, обрисованной в этой главе, зависит от длительного собирания и согласования данных по всему пути от Солнца до Земли. Для иллюстрации приведем следующий пример. Наблюдательная ОСО передает сигнал о начале солнечной вспышки, несколько часов спустя «Пионер-6» или другая ракета, находящаяся в межпланетном пространстве,

регистрирует своими приборами переднюю кромку плазменного языка и передает эти данные на Землю. Еще позже, если плазменный язык охватит всю Землю, искусственные спутники проследят за частицами плазмы, когда они проникнут в магнитосферу, двигаясь по спирали вдоль силовых линий магнитного поля Земли и вызывая полярные сияния.

ЛИТЕРАТУРА

Ellison M., A., The Sun and Its Influence, Routledge and Kegan Paul, Ltd., London, 1959 (русский перевод 1-го изд.: Эллисон М. А., Солнце и его влияние на Землю, Физматгиз, 1959). Все книги, указанные в конце гл. 5.

Витинский Ю. И., Солнечная активность, изд-во «Наука», М., 1969.
Пикельнер С. Б., Солнце, Физматгиз, М., 1961.

БЛУЖДАЮЩЕЕ КРАСНОЕ ПЯТНО ЮПИТЕРА И ДРУГИЕ ЧУДЕСА

Космический корабль, летящий от Солнца, пересечет на расстоянии 227 миллионов километров от нашего центрального светила орбиту планеты Марс. Марс представляет собой последний аванпост планет «земной» группы. За ним простирается свободное от планет пространство протяженностью почти в 550 миллионов километров, в котором носятся тучи астероидов и более мелких обломков. Если космический корабль благополучно пролетит сквозь это пространство и если его траектория рассчитана правильно, то он встретится с гигантским сплюснутым сфероидом, состоящим из газов, льдов и материи в бог знает каком состоянии. Это Юпитер, колосс среди планет солнечной системы, воистину «планета тайн», первая из планет неземной группы.

Успешно добравшись до Юпитера, корабль передаст по радио новые данные об этой планете; радиосообщения, пройдя сотни миллионов километров, достигнут огромных «ушей» антенн, ожидающих на Земле. Но если история повторяется, то каждый новый факт о Юпитере лишь углубит таинственность, окружающую этого полосатого гиганта, который мог бы вместить 1300 земных шаров.

Юпитер — совершенно особая планета, и, по-видимому, очень немного из нашего земного опыта может помочь ее пониманию. Планета ярко светит на ночном небе и известна с древних времен. Даже некоторые ее луны, достигающие почти размеров Земли, бывают иногда видны невооруженным глазом. Первые телескопы и спектроскопы рассматривали его диск сотни лет назад, но и сегодня мы еще достаточно далеки от создания жизнеспособной модели Юпитера. Дело не в том, что моделей нет — их слишком много. Каждый год приносит все новые и новые. В конце концов под ударами новых фактов некоторые модели исчезнут, а одна-две укрепятся. А как только будет найден ключ к Юпитеру, появятся также модели других

планет-гигантов (Сатурна, Урана и Нептуна). Поскольку в Юпитере сосредоточено более $2/3$ всей массы, обращающейся вокруг Солнца, понимание этой планеты означает, по-видимому, понимание происхождения самой солнечной системы.

Согласно одной из моделей Юпитера, планета состоит из того же основного материала, что и Солнце, — из водорода и гелия. С этой точки зрения Юпитер — маленькая звезда, не ставшая самосветящейся из-за того, что энергия гравитационного сжатия оказалась недостаточной для нагревания ее до такой температуры, при которой термоядерные реакции становятся самоподдерживающимися. Как будто бы для того, чтобы подчеркнуть свое сходство с Солнцем, Юпитер имеет увеличивающиеся и уменьшающиеся пятна, в том числе Большое Красное Пятно, уже сотни лет дающее астрономам пищу для размышлений. Юпитер также может похвастаться разного рода «активностью» с определенными чертами цикличности. В отличие от циклических извержений Солнца, выбрасывающих плазму и коротковолновое излучение, Юпитер испускает радиоволны, которые, по-видимому, как-то связаны с положением нескольких из его больших и близко расположенных к планете спутников. Наблюдаются также поразительные изменения цвета. Однако цель данной главы — не описывать соревнование Юпитера с Солнцем, хотя параллели и захватывающи, а рассказать, как развивались модели Юпитера, подчеркнув роль Большого Красного Пятна и недавно открытого радиоизлучения.

Наблюдатели, впервые рассматривающие Юпитер в телескоп, часто мгновенно интуитивно ощущают его грандиозные размеры и необычный характер. Планета почти неправдоподобно сильно сжата у полюсов центробежной силой: ее экваториальный диаметр составляет 142 500 км, а полярный лишь 133 500 км. Желтоватые, красноватые, голубоватые, иногда коричневатые полосы резко делят Юпитер на зоны, которые первые наблюдатели сразу же связали с нашими земными климатическими зонами. Часто большие внутренние луны Юпитера проходят перед его диском, отбрасывая на него мрачные, почти круглые тени. Вполне понятно, что сначала Юпитер представляли себе планетой, подобной Земле, — конечно, огромной и покрытой облаками, но, вероятно, населенной живыми существами.

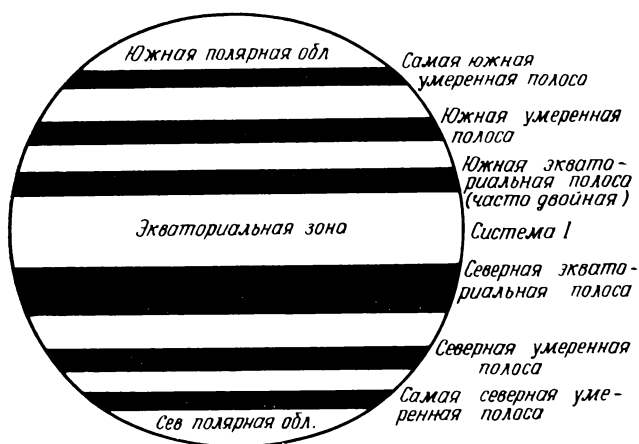


Рис. 24. Облачные пояса на Юпитере. Большое Красное Пятно, когда оно видно, расположено в Южном умеренном поясе. Северный полюс находится на рисунке внизу, как он виден в телескоп.

Более тщательное изучение Юпитера быстро разрушило все иллюзии о том, что он обладает какими-либо земными свойствами. Уже за полчаса наблюдений становится видно, что Юпитер заметно повернулся. Он вращается вокруг своей оси лишь за 9 часов 55 минут, т. е. быстрее любой другой планеты солнечной системы. Облачные пояса вращаются с разной скоростью. Цвет облаков меняется; появляются и исчезают различные недолговечные пятна и другие «возмущения». Визуальные наблюдения цвета и структуры выявляют странность Юпитера, но только физические измерения дают истинное представление о том, насколько эта планета необычна. Исследования Красного Пятна и радиоизлучения подчеркивают эту необычность. Однако тот факт, что Юпитер коренным образом отличается от Земли, не делает его изгоем или парией, — он может быть планетой, типичной для других планетных систем. Астрономы уже обнаружили большие несветящиеся тела, обращающиеся вокруг ближайших к нам звезд, по их гравитационному воздействию на видимого компаньона. Вполне может быть, что действительными униками на небе являются Земля и другие планеты земной группы.

Гравитационные эффекты помогли также впервые точно определить массу Юпитера. Талантливый бухгалтер-токарь-астроном Фридрих Вильгельм Бессель открыл неземную структуру и состав этой планеты. В своих исследованиях Бессель воспользовался чрезвычайно трудоемкими и сложными вычислениями, основанными на периодах обращения больших внутренних лун Юпитера, степени сплюснутости планеты и других факторах. Результаты своих трудов (которые в наши дни могли быть выполнены вычислительными машинами) Бессель опубликовал в 1842 г. в журнале «*Astronomische Untersuchungen*». Он нашел, что масса Юпитера примерно в 388 раз больше массы Земли (по современным измерениям — в 318 раз). Все были поражены, когда сравнили этот результат с объемом Юпитера, который в 1318 раз превышает объем Земли. Оказалось, что средняя плотность Юпитера составляла лишь 1,33 плотности воды и менее $1/4$ плотности Земли.

Нечего было и думать о сходстве Юпитера с Землей. Идея о твердой планете с прочной поверхностью растворилась в вихрях газов и бурлящих жидкостях, которые по новому представлению и составляли Юпитер.

Как пишет Вилли Лей в своей книге «Часовые небеса»: «Все факты подсказывали лишь одно: тепло». В 1874 г. немецкий пионер спектроскопии Герман Карл Фогель подтвердил эту идею, обнаружив, что хотя спектр Юпитера в основном является спектром отраженного солнечного света, но на его красном конце заметно собственное свечение планеты. Американский астроном Генри Дрэпер в 1880 г. получил дополнительные наблюдательные подтверждения. Этого, по-видимому, было достаточно для популяризаторов науки того времени. В книге «Другие миры», изданной в 1896 г., профессор Ричард А. Проктор предложил горячую, кипящую, докрасна раскаленную модель Юпитера. Проктор заявил, что это единственный способ объяснения «жизнеспособности» Юпитера. Эта «котелковая» модель Юпитера согласовывалась с наблюдениями того времени, но дальнейшие физические измерения привели к появлению еще более странных моделей. «Котелковая» модель по крайней мере способствовала достижению главной цели Проктора, которая заключалась в нанесении последнего удара по широко распространенному в то время представлению об обитаемости Юпитера и других планет.

Логический путь оценки модели горячего Юпитера состоял в подсчете энергетических ресурсов, могущих обеспечить жизнедеятельность планеты. Энергии, поступающей от Солнца, которое удалено на 780 миллионов километров, совершенно недостаточно, а большая часть тепла, оставшегося от гравитационного сжатия при рождении планеты, должна была либо рассеяться, либо оказаться под толстым изолирующим слоем твердой породы (как на Земле). По-видимому, ни один из этих источников энергии не в состоянии объяснить модель горячего Юпитера, провозглашенную Проктором. В 20-х годах нашего века английский астроном Гарольд Джеффрис подсчитал возможную радиоактивность — единственный оставшийся источник энергии у тела, слишком малого, чтобы поддерживать термоядерные реакции. Вычисления Джеффриса показали, что радиоактивность Юпитера должна во много тысяч раз превышать радиоактивность земной коры, для того чтобы на Юпитере выделялось заметное количество тепла. Об этом не могло быть и речи, если все планеты имеют общее происхождение. Поэтому Юпитер *должен* быть скорее холодным, чем горячим.

Джеффрис высказывался даже более определенно. Он предположил, что Юпитер имеет небольшое твердое ядро, окруженное толстым слоем льда, над которым простирается протяженная атмосфера из водорода, гелия, азота, кислорода и, возможно, метана. Быстро вращающиеся облака, по-видимому, состоят из кристалликов замерзшей углекислоты. Примерно в это же время, в 1926 г., Дональд Мензел и его сотрудники в Гарварде на основании инфракрасных измерений Юпитера с помощью радиометра (совершенно отличного от спектрометра Фогеля) пришли к выводу, что температура планеты близка к -140°C , т. е. достаточно низка для поддержки «холодильной» модели Джеффриса. За три десятилетия модель Юпитера прошла путь от одной температурной крайности до другой.

Здесь следует сделать несколько предупреждающих замечаний. Во-первых, еще ничего не говорилось о Большом Красном Пятне и радиоизлучении Юпитера. Во-вторых, существуют наблюдения Фогелем инфракрасного излучения Юпитера, относящиеся к 1874 г. Эти старые спектроскопические данные широко интерпретировались в то время как тепловое излучение горячей планеты. На самом же деле в 1874 г. Фогель зарегистрировал темную полосу в спектре поглощения, которая

отсутствовала в спектре Солнца. Как раз абсолютно неправильное истолкование одной из этих полос и привело к ранним представлениям о горячем Юпитере. Впоследствии были обнаружены другие темные полосы и линии. Что-то в атмосфере Юпитера определенно поглощало часть падающего солнечного света, прежде чем он отражался к Земле. Единственной бедой было то, что никто не мог найти химические вещества, вызывающие это поглощение: в лабораториях подобных спектров поглощения не было.

В 1931 г. астроном немецкого происхождения Руперт Вильдт предположил, что эти таинственные линии поглощения принадлежат метану и аммиаку, находящимся в верхних слоях атмосферы Юпитера. Чтобы подтвердить или опровергнуть гипотезу Вильдта, сотрудник Маунт-Вилсоновской обсерватории Теодор Дэнхем наполнил под давлением шестифутовую трубу аммиаком и метаном в газообразном состоянии. Пропуская с помощью зеркала свет сквозь эти газы в разных направлениях, он установил, что метан и аммиак действительно производят поглощение в тех же длинах волн, которым соответствуют темные линии в спектре Юпитера. Следовательно, метан и аммиак на самом деле находятся в верхних слоях атмосферы, но ученые полагали, что они представляют собой лишь незначительные примеси. Однако популяризаторы науки ошибочно сообщили широкой публике, что Юпитер и другие большие планеты имеют довольно неподходящую атмосферу, состоящую в основном из метана и аммиака. Дальнейшие исследования показали, что этот вывод неправилен, но многие книги вышли с такой ошибочной концепцией.

Для того чтобы проникнуть в тайну атмосферы Юпитера, были проведены еще два эксперимента. В первом из них воспользовались тем обстоятельством, что Юпитер в ночь на 20 ноября 1952 г. проходил перед звездой сигма Орла (затмевая ее). Тщательно измеряя изменение интенсивности света звезды по мере того, как атмосфера Юпитера постепенно ее закрывала, американские астрономы В. Баум и А. Коуд с помощью спектроскопа, присоединенного к 60-дюймовому телескопу обсерватории Маунт Вилсон, смогли выяснить, что средний молекулярный вес газов в верхних слоях атмосферы Юпитера заключен между тремя и четырьмя. Эти данные показывают, что метан и аммиак с молекулярными весами соответственно

16 и 17 не могут считаться важными составными частями *верхних* слоев атмосферы. Гораздо более вероятно, что главную роль играют водород и гелий.

Следующее важное наблюдение было произведено в 1960 г., когда Кисс и Корлисс из Бюро стандартов США в конце концов измерили линии излучения молекулярного водорода, подтвердив то, что предполагалось на основе низкого молекулярного веса. Если покажется странным тот факт, что спектроscopy раньше не обнаружили водород, то следует вспомнить, что при низких температурах возбуждается мало линий.

В настоящее время все данные свидетельствуют о том, что в атмосфере преобладают водород и гелий, а метан, аммиак и другие тяжелые газы являются примесями. Относительное содержание водорода и гелия представляет собой предмет серьезных споров. Некоторые исследователи считают, что в атмосфере содержится до 97% гелия, другие склоняются к водороду как основной составляющей. Наблюдения недостаточно точны, чтобы можно было с уверенностью сказать, кто прав. Однако ясно лишь то, что экспериментальные данные поверхностны в том смысле, что они относятся только к верхним слоям атмосферы Юпитера. Единственные сведения, которые мы можем получить о недрах Юпитера, опираются на среднюю плотность планеты (1,33 плотности воды), ее гравитационное поле, обрисовываемое движением ее лун, движения облаков и изменения цвета.

Модель Юпитера, убедительная для большинства людей, принята в настоящее время еще не всеми, и вряд ли можно считать ее окончательной. Однако она представляет собой удобную основу для дальнейшего рассмотрения Большого Красного Пятна и спорадического радиоизлучения Юпитера.

В настоящее время вырисовывается следующая картина, разработанная В. Маркусом (США), В. Рамсеем (Англия), В. Г. Фесенковым и А. Г. Масевич (СССР). Прежде всего в модели принимается, что на один атом гелия на Юпитере приходится примерно 14 атомов водорода и небольшое количество примесей. Большая часть гелия сосредоточена в центре планеты — поистине уникальная структура. Согласно современным уравнениям, связывающим давление, плотность и температуру и описывающим поведение вещества, давление на глубине в $1/5$ расстояния от верхних слоев облаков до центра

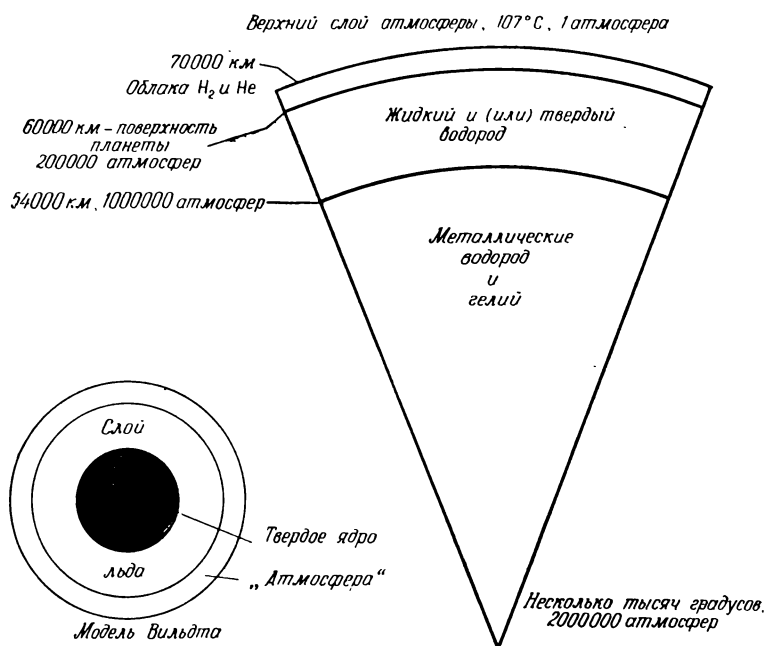


Рис. 25. Старая модель Юпитера по Вильдту и новая наиболее популярная модель.

планеты достигает фантастической величины в 2 миллиона атмосфер. При таком давлении молекулярный водород переходит в твердое состояние, приобретая многие свойства металла, например электропроводность. «Металлический» водород концентрируется в центре планеты, где под давлением, приближающимся к 100 миллионам атмосфер, сжимается до плотности, возможно, в 30 раз превышающей плотность воды (т. е. становится плотнее любого элемента при нормальных условиях). Температура в недрах Юпитера принимается в несколько тысяч градусов, а внешние слои его атмосферы очень холодны в соответствии с данными наблюдений. Таким образом, Юпитер, вероятно, состоит из того же основного вещества, что и Солнце и другие звезды, только он слишком холоден и слишком мал,

чтобы превратиться в самоподдерживающуюся термоядерную печь. Юпитер представляется почти настоящей звездой, которая лишь немного не дотянула до нормы.

Фундамент дома часто бывает не так интересен, как ставни, фронтоны и некоторые привлекающие внимание украшения. Как астрономическая загадка Большое Красное Пятно Юпитера, безусловно, стоит в одном ряду с каналами Марса и солнечными пятнами. Хотя Красное Пятно представляется лишь поверхностным явлением планеты, по сравнению с которой все объекты солнечной системы, кроме Солнца, кажутся карликами, возможно, Красное Пятно — отражение более глубоких свойств. Точно так же, как солнечные пятна помогают исследованию Солнца, Большое Красное Пятно раскроет нам, возможно, тайны Юпитера.

Когда Большое Красное Пятно Юпитера становится кирпично-красным, его можно увидеть даже в небольшой телескоп. Трудно не заметить область почти в 50 000 км длины и 15 000 км шириной (примерно в 4 раза больше диска Земли), особенно потому, что по форме и цвету она резко выделяется на фоне облачных полос. Однако значительную часть времени Красное Пятно остается бледным и почти невидимым из-за слабого контраста с соседними участками. В эти периоды оно кажется лишь некоторым «углублением» или имеет вид контура в южной умеренной зоне Юпитера. Но его общая форма и размеры сохраняются, несмотря на временное ослабление.

Впервые увидел Красное Пятно, по-видимому, Роберт Гук, известный своей травлей Исаака Ньютона. В 1664 г. он нарисовал Юпитер с темным пятном в южной полусфере, которое скорее всего и было знаменитым Пятном. На рисунках итало-французского астронома Джованни Кассини, сделанных в 1672 и 1691 гг., безусловно видно Красное Пятно. По-настоящему Пятно привлекло внимание, когда оно «вспыхнуло» в 1878 г. Телескопы многих астрономов устремились к заметному теперь объекту после того, как в 1879 г. Вильгельм Темпель опубликовал статью в журнале «Astronomische Nachrichten». В течение четырех лет Пятно было *главной* тайной астрономии и предметом широких обсуждений. Затем по неизвестной причине оно поблекло, а вместе с ним пропал и интерес. По представлениям 1878 г. Юпитер являлся землеподобной планетой, и неожиданное появление (предшествующие наблюдения

Гука и Кассини в то время с Красным Пятном не связывали), а затем ослабление Пятна свидетельствовали о земном характере явления, например о колоссальном извержении вулкана или потоке лавы, отбрасывающими красный свет на проносящиеся над ними облака. Некоторые горячие умы предположили, что в Юпитер, возможно, врезался астероид или происходит даже еще более поразительный катаклизм: Юпитер собирается породить новую луну и вскоре выбросит огромную массу расплавленного планетного вещества.

Когда волнения, связанные с резким улучшением видимости Пятна в период 1878—1882 гг., улеглись, астрономы обратились к своим журналам и обнаружили, что у Большого Красного Пятна длительная, хотя и не нашедшая широкого отражения в печати история. Опять всплыло имя Генриха Швабе. Этот немецкий астроном-любитель в начале XIX в. в течение 17 лет с невероятным усердием регистрировал положение пятен на Солнце. По-видимому, Швабе вообще интересовался разными пятнами, так как в 1831 г. он зарисовал и описал Большое Красное Пятно. Никто на это внимания не обратил.

Поскольку Пятно оказалось частью постоянного набора тайн Юпитера, мысли о столкновениях с астероидами и рождениях лун быстро исчезли. А затем несколько астрономов приступили к более тщательному наблюдению Пятна, когда оно в 1882 г. поблекло до бледно-розового цвета.

Немного больше чем через 10 лет пятно снова «вспыхнуло». Подводя некоторые итоги, можно сказать, что наиболее ярким пятно было в следующие периоды: 1878—1882, 1893—1894, 1903—1907, 1911, 1914, 1919—1920, 1926—1927, 1936—1937, 1957—1958 и 1961 гг. Какая бы модель ни была создана для объяснения Пятна, она должна предусматривать механизм, приводимый в движение изнутри или снаружи, для того чтобы планета на площади 800 миллионов квадратных километров приобрела кирпично-красный цвет.

Как будто для того, чтобы запутать создателей модели, Пятно меняет не только размеры, но и, подобно цыганскому табору, блуждает на несколько градусов по долготе. Оно также участвует во вращении планеты, причем скорость его вращения отличается от скорости окружающих облачных полос. Английский астроном-любитель Бертрам Пик в течение многих лет

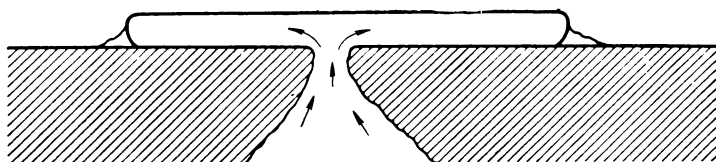
неутомимо во всех деталях регистрировал положение и внешний вид Пятна. Сейчас Пик — крупнейший специалист по Юпитеру, и его книга «Планета Юпитер» является классическим исследованием этой странной планеты. Зарегистрированное Пиком изменение координат, по-видимому, служит достаточным доказательством того, что Красное Пятно не закреплено на твердой поверхности Юпитера, если таковая существует, а «плавает» в его атмосфере. Но никто никогда ни в чем не может быть уверен в отношении Юпитера.

Зная лишь об изменении цвета, формы и положения Пятна, теоретики, естественно, могли подумать, что оно представляет собой чудовищный «айсберг», подвешенный в плотной атмосфере Юпитера. Само собой разумеется, что обычный водяной лед не подходит для Юпитера — планеты, в основном состоящей из водорода и гелия. Пик предположил существование плавучей льдины из гелиевого льда, которая поднимается и опускается при изменении плотности окружающей жидкости. Когда айсберг плывет высоко в жидкости или в плотной атмосфере, Пятно кажется ярким, а когда низко — слабым. Это довольно эксцентричная идея: кусок твердого гелия величиной в несколько земных шаров дрейфует между быстро движущимися полосами цветных облаков шириной в тысячи километров. Однако, как мы уже знаем, Юпитер достаточно экстравагантен и без Красного Пятна.

Если мысль о низкотемпературном айсберге представляется слишком необоснованной, обратимся к другим фактам. Короткоживущие пятна — обычное явление как на Юпитере, так и на Сатурне. Не могут ли они послужить ключом к выяснению природы более крупного и более постоянного Красного Пятна? Большинство пятен существует лишь несколько суток и помочь может мало. Интересное исключение представляет собой большое извержение, называемое сейчас Южным Тропическим Возмущением. Астроном П. Б. Молсворт 28 февраля 1901 г. обратил внимание на темный горб на краю Южного экваториального течения (одной из полос Юпитера). Горб быстро превратился в пятно, которое распространилось по поясу и вытянулось в длину. Как и Красное Пятно, оно участвовало во вращении планеты вокруг оси со скоростью, отличающейся от скорости окружающих облаков. На самом деле оно двигалось быстрее Красного Пятна, которое плыло невдалеке в более

южных широтах. Каждые два-три года Южное Тропическое Возмущение догоняло и перегоняло Большое Красное Пятно. Когда эти гигантские призраки сближались, наблюдалось определенное взаимодействие, напоминающее взаимодействие двух кусков мыла, плавающих в ванной. Казалось, что Возмущение тянет Пятно за собой на протяжении нескольких тысяч километров и лишь затем отпускает его и позволяет вернуться в первоначальное положение. Визуальные наблюдения носили в высшей степени «гидродинамический характер». К сожалению, Южное Тропическое Возмущение со всей его потенциальной диагностической ценностью с 1941 г. не наблюдалось.

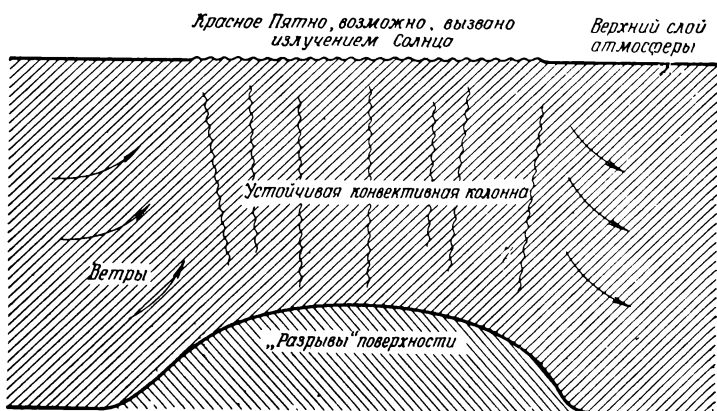
Используя «гидродинамический подход», Р. Хайд (Массачусетский технологический институт) недавно предложил несколько видоизмененную модель Красного Пятна, которая хорошо согласуется как с наблюдениями, так и с лучшими моделями планеты в целом. Хайд показал, что ветры, проносящиеся над большим «разрывом» в твердой поверхности Юпитера, например над неглубокой выемкой или плато, имеющим площадь пятна, создали бы вертикальный конвективный столб, который, пройдя сквозь толстый покров облаков, достиг бы верхних слоев атмосферы и предстал бы перед нами в виде Большого Красного Пятна. В качестве земной аналогии можно было бы привести сравнительно неподвижные облака, образующиеся в результате действия ветра в районе горных цепей. Чтобы объяснить движение Пятна, можно было бы предположить существование плавающей поверхности. Если столб поднимающегося над разрывом газа высок, то он может закручиваться и колебаться подобно смерчу, придавая видимость движения неподвижному явлению. Многие думали, что Пятно может представлять собой смерчеобразный вихрь в атмосфере Юпитера. Овальная форма и тот факт, что концы овала заостряются, противоречат этому предположению. Механизм, предложенный Хайдом, зависит от явления, которое в гидродинамике называют *колонкой Тейлора*. Гидродинамическая модель объясняет сравнительное постоянство Красного Пятна и при этом допускает некоторые колебания формы, положения и видимости. В общем гидродинамическая модель похожа на айсберговую модель Пика, с той лишь разницей, что Пик позволяет нам видеть возмущающий объект, а Хайд показывает нам только возмущение, которое объект вызывает в атмосфере.



*Модель потока докрасна
раскаленной лавы*



*Модель ге лиевого
айсберга*



Р и с. 26. Некоторые модели Красного Пятна.

Совсем недавно американский астроном Карл Саган дополнил модель Хайда некоторыми соображениями, которые перенесли явление еще ближе к поверхностным слоям. Саган предполагает, что красный цвет Пятна объясняется возбуждением органических молекул в верхней части колонки Тейлора электрическими разрядами или, возможно, солнечным излучением и плазмой. Изменения цвета и видимости можно было бы тогда объяснить изменениями в источнике возбуждения.

Таким образом, объяснения или модели Большого Красного Пятна претерпевали такие же сильные колебания, как и планетные модели Юпитера. Каждый важный новый факт порождал новую модель. И естественно, модель Пятна должна была изменяться в такт с каждой новой моделью планеты. В настоящее время обе модели по своему характеру криогенные и по температуре на тысячи градусов отошли от докрасна раскаленных потоков лавы и «кипящих котлов» прошлых представлений.

Как раз тогда, когда природа представляется непреклонной, а возможности лучших научных инструментов исчерпанными, некто открывает новый метод, добавляющий в некоторую проблему новые сведения, которые позволяют нам увидеть явление в совершенно ином свете. В предыдущих главах было показано, каким мощным орудием была радиоастрономия для космологии и солнечной физики. Несмотря на такую плодотворную историю, мы все-таки поражаемся, когда радиоастрономия помогает нам снять покров тайны с такой ледяной планеты, как Юпитер. Какие физические процессы во льдах и газах вблизи абсолютного нуля могут генерировать радиоволны?

Радиоастрономы не раз регистрировали радиоволны Юпитера, прежде чем распознали, что они исходят от этой планеты. В конце концов замерзший Юпитер *не должен* был испускать радиоволны, и поэтому никто их и не искал, а если Юпитер проходил в «поле зрения» радиотелескопа и, случалось, его излучения регистрировались, то их просто не принимали во внимание.

Впервые Юпитер был признан радиоизлучающей планетой в начале 1955 г., когда сотрудники института Карнеги в Сенеке (Мэриленд) Б. Ф. Берк и Ф. Л. Франклин связали с этой планетой сильные периодические всплески радиOSHума

на волне 13,5 м. Радиоастрономы немедленно обратились к своим старым регистрациям (не таким уж и старым в молодой радиоастрономии) в поисках записанных сигналов, источником которых мог бы быть Юпитер.

В Австралии, стране, в которой чрезвычайно высоко развита радиоастрономия, С. А. Шайн обнаружил данные, относящиеся к 1950 и 1951 гг., несомненно связанные с Юпитером. Первоначально эти сигналы были отброшены как вызванные земными грозами. Записи Шайна были достаточно хорошими для того, чтобы установить периодичность всплесков радиоизлучения. Эти всплески усиливались и слабели через 9 часов 55 минут в полном соответствии с периодом вращения некоторых облачных полос Юпитера. Источник радиовсплесков, по-видимому, участвовал во вращении планеты вместе с системами облаков.

После неожиданного открытия Берка и Франклина на Юпитер, как только он появлялся над горизонтом, стали направлять многие радиотелескопы. И в радиоволнах планета была такой же сложной и необычной, какой она представлялась в видимом свете. Были зарегистрированы радиоволны в сантиметровом, дециметровом (десятки сантиметров) и декаметровом (десятки метров) диапазонах. Радиоизлучение в каждом диапазоне требует особого объяснения. Но это хорошо, когда имеешь дело с такой неожиданной планетой, как Юпитер: чем больше *различных* данных, тем лучше.

Если начать с коротковолнового конца наблюдаемого радиоспектра, сантиметровое радиоизлучение имеет очевидное объяснение — температуру. Обращаясь к прошлому, следует сказать, что сантиметровое радиоизлучение нужно было искать раньше. Американский астроном С. Н. Мейер и его сотрудники впервые обнаружили радиоизлучение Юпитера с длиной волны 3,15 см в 1956 г. Интенсивность сигналов оказалась примерно такой, какую можно было ожидать от планеты размером с Юпитер и температурой атмосферы, близкой к 75° ниже нуля. Радиоизлучение на сантиметровых волнах определенно имеет тепловое происхождение и находится в согласии с радиометрическими измерениями температуры Юпитера. Как бы ни была холодна атмосфера планеты, свободные электроны колеблются достаточно быстро, чтобы генерировать сантиметровые волны (10 000 000 000 раз в секунду для волны 3 см). Даже лед генерирует «тепловое» излучение.

В дециметровом диапазоне результаты измерений оказались не столь обнадеживающими. На длине волны 22 см радиоблеск Юпитера соответствует температуре свыше 2750°. На длине волны 68 см *видимая* температура поднимается почти до 72 000°. Ясно, что признать только тепловую природу этого радиоизлучения было бы смешно. Сложилась картина, напоминающая солнечную корону, где наблюдаются температуры в миллионы градусов. В атмосфере Юпитера существует какой-то *нетепловой* физический процесс, который ускоряет электроны и заставляет их излучать в дециметровом диапазоне.

В 1959 г. Дж. Филд высказал в журнале «Journal of Geophysical Research» предположение, которое, казалось, объясняло все известные характеристики дециметрового радиоизлучения Юпитера. Филд постулировал, что Юпитер обладает сильным магнитным полем, напряженность которого, возможно, превышает 1000 гаусс, и что электроны захватываются этим полем так же, как на Земле они захватываются радиационными поясами. Двигаясь по спирали вокруг магнитных силовых линий, электроны ускоряются в том смысле, что они отклоняются от прямолинейного движения. Ускоренные электроны излучают радиоволны в точности так же, как в циклотронах или синхротронах. В последнее время выяснилось, что подобное излучение испускается земными радиационными поясами.

Дальнейшее исследование дециметрового излучения Юпитера показало, что оно, по-видимому, возникает в области, значительно превышающей видимый диск планеты, что и следовало бы ожидать, если источником его являются обширные радиационные пояса Юпитера. По крайней мере частично дециметровое излучение связано с солнечной активностью, так же как земные полярные сияния и магнитные бури. Кажется, что языки солнечной плазмы доходят до самого Юпитера и заряженные частицы попадают в его магнитную бутылку.

Как бы ни удовлетворяла ученых гипотеза радиационных поясов, теоретикам очень трудно объяснить происхождение магнитного поля Юпитера, напряженность которого в 2000 раз превышает земную. Задача оказалась бы более легкой, если бы было известно происхождение земного магнитного поля. Одна из теорий земного поля объясняет его происхождение действием динамоэффекта электрических токов, циркулирующих под корой. Чтобы подобным же образом объяснить происхождение

ние поля Юпитера, пришлось бы признать существование электропроводящего материала где-то под облачными поясами, закрывающими планету. Таким образом, открытие радиоизлучения Юпитера имеет чрезвычайно важное значение для построения модели планеты в целом. Современная криогенная модель Юпитера имеет твердое ядро из металлического водорода и гелия. Это таинственное вещество должно быть хорошим проводником электричества и в сочетании с быстрым вращением Юпитера вокруг своей оси может объяснить мощное магнитное поле, требующееся для объяснения дециметрового радиоизлучения. Ученые с удовлетворением отмечают параллельность эффектов Солнце — Юпитер и Солнце — Земля. Такие параллели помогают связать воедино всю солнечную систему.

Нельзя не увидеть оттенка иронии в том обстоятельстве, что солнечная активность влияет на дециметровое излучение Юпитера, а Юпитер в свою очередь (если напрямь воображение) стимулирует своим гравитационным полем солнечную активность. Кто знает, сколько неуловимых связей существует еще между Солнцем и его планетами?

Третий компонент радиоизлучения Юпитера — декаметровое излучение — нельзя точно подогнать под нашу модель. Открыли его первым, а объяснят, кажется, последним. Декаметровое излучение представляет собой излучение типа *шумовых бурь*: оно не непрерывно, а носит характер всплесков, имеющих сложный спектр. Легко понять, почему Шайн принял их за явления земной грозовой активности, поскольку они могут в действительности возникать при грозových разрядах в атмосфере Юпитера. Всплески интенсивны, хорошо сфокусированы и длятся каждый несколько секунд. Ряд декаметровых всплесков может иметь мощность до 10 000 мегаватт, и этот результат хорошо согласуется с мыслью об электрических разрядах в турбулентной атмосфере. Отдельный такой всплеск рассказывает мало, но в совокупности они могут дать ключ к решению проблемы.

В наши дни астрономы гораздо больше, чем раньше, уделяют внимание цикличности в небесных явлениях. Как только наблюдения солнечной системы показывают хоть малейшее изменение с течением времени, астрономы прежде всего пытаются установить связь этих явлений с циклом солнечных пятен. Всплески декаметрового радиоизлучения Юпитера

происходят периодически, и совершенно естественно, что их появление пытались сопоставить с солнечными пятнами. В то время как некоторые изменения цвета Юпитера, по-видимому, действительно вызваны Солнцем, выявилась лишь *обратная* зависимость декаметрового излучения от солнечных пятен: чем больше солнечных пятен, тем меньше всплесков. Одновременно было установлено, что всплески декаметрового радиоизлучения часто происходят через несколько дней после взрывов на Солнце. Эти два факта никак не увязывались друг с другом. Совершенно иную и довольно неожиданную зависимость привел в 1964 г. Е. К. Бигг в журнале «Nature». Бигг заявил, что всплески декаметрового радиоизлучения Юпитера связаны с положением третьего по величине спутника Юпитера Ио. Более тщательный анализ радиовсплесков, зарегистрированных в период 1957—1965 гг., подтвердил эту связь и выявил также, что положения спутников — Европы и Ганимеда — влияют на периодичность декаметрового излучения. Ио (*самый близкий большой спутник Юпитера*) оказывает наиболее сильное влияние на это излучение.

Диаметр Ио составляет около 3500 км, а радиус орбиты этого спутника лишь 422 000 км. Видимый диаметр Юпитера равен 140 000 км, так что спутник Ио расположен вблизи его атмосферы и, возможно, внутри предполагаемой магнитопаузы. Если Ио обладает собственным магнитным полем, то можно подозревать, что оно будет влиять на ионосферу Юпитера и (или) на его радиационные пояса. Не исключено также влияние гравитационных приливных сил на текучие вещества (газа и жидкости), окружающие твердое ядро. Открытие влияния Ио произошло столь недавно, что пока не разработаны сколько-нибудь детальные объяснения этого эффекта.

Мысль о гравитационном возбуждении всплесков радиоизлучения представляется весьма привлекательной, поскольку предполагается существование аналогичной связи между Юпитером и солнечной активностью. В дополнение к аналогии (которая может оказаться абсолютно ошибочной и даже вздорной) Ио и Юпитер соответственно гравитационно воздействуют на Юпитер и Солнце, вызывая электромагнитную активность, которую можно обнаружить на Земле.

Куда еще должен обратиться экспериментатор, чтобы выловить данные о Юпитере? Последние открытия влияния Ио сви-

детельствуют о том, что в области спектра радиочастот остается еще много работы. Радиоастрономический спутник, запущенный в 1967 г., позволит проникнуть в ту часть радиоспектра ниже 15 *Мгц*, которая до сих пор была закрыта ионосферой Земли. Этот спутник, снабженный антеннами длиной 225 м, ориентированными на Юпитер, должен дать нам основную информацию о декаметровом излучении. В коротковолновой области спектра, в ультрафиолете и в рентгеновских лучах, где ожидается помощь Орбитальной астрономической обсерватории (ОАО) NASA, специальные инструменты, наведенные на Юпитер, вряд ли дадут много интересного. Однако Юпитер знаменит своими сюрпризами, поэтому решение о его наблюдении с помощью ОАО было, пожалуй, вполне разумным.

Что же касается запуска к Юпитеру космического корабля, то astronautическая литература переполнена подобными идеями и конструкциями кораблей. В связи с тем что до Юпитера кораблю предстоит лететь почти два года, и сам корабль и установленные на нем приборы должны быть чрезвычайно надежными. Глубокий холод межпланетного пространства и уменьшение мощности потока солнечной энергии по мере удаления корабля от Солнца увеличивают трудности такой экспедиции. Тем не менее раскрытие тайн Юпитера настолько важно для понимания всей солнечной системы, что полеты к Юпитеру должны последовать сразу же за осуществленными уже полетами к Марсу и Венере. Направляемые к Юпитеру корабли должны помочь осуществлению следующих экспериментов.

Первый же такой корабль должен быть снабжен магнитометром для измерения магнитного поля Юпитера, обнаруженного по дециметровому радиоизлучению планеты.

Желательно захватить микроволновый радиометр для контроля земных измерений и, если возможно, для измерения температуры поверхности планеты на длинах волн, проходящих сквозь атмосферу Юпитера.

Для исследования частиц, захваченных предполагаемыми радиационными поясами Юпитера, нужны счетчики заряженных частиц.

На корабле должна быть установлена телевизионная камера для получения крупномасштабных снимков Юпитера, подобных тем, которые сделал «Маринер-4», давший нам возможность впервые хорошо рассмотреть поверхность Марса,

Несколько спектрометров, способных рассматривать поверхность планеты, должны дать детальные спектры облачных полос и Красного Пятна на разных длинах волн. С помощью таких инструментов, возможно, будут обнаружены полярные сияния на Юпитере.

Это тот путь, по которому хотели бы идти астрономы, но полный всякими неожиданностями Юпитер может завтра расцвести новым Большим Красным Пятном либо начать бомбардировать нас рентгеновскими или какими-нибудь другими лучами. Как заявил в 1896 г. профессор Проктор (имея в виду совершенно другую модель планеты): «Внутри диска, великолепно сверкающего на нашем небе, должны протекать возмущающие процессы, совершенно отличающиеся от происходящих на Земле» *.

ЛИТЕРАТУРА

- Dulk G. A., Io-Related Emission from Jupiter, *Science*, 148, 1585, June 18, 1905.
 Glasstone S., Sourcebook on the Space Sciences, D. Van Nostrand Company, Princeton, 1965.
 Ley W., Watchers of the Skies, The Viking Press, New York, 1963.
 Moore P., The Planets, W. W. Norton & Company, New York, 1962.
 Peebles P. J., E., The Big Planets, *International Science and Technology*, 32 (Nov. 1964).
 Peek B. M., The Planet Jupiter, The Macmillan Company, New York, 1958.
 Whipple F. L., Earth, Moon, and Planets, Harvard University Press, Cambridge, 1963 (русский перевод: Уиппл Ф., Земля, Луна и планеты, изд-во «Наука», М., 1968).
 Мартынов Д. Я., Курс общей астрофизики, изд-во «Наука», М., 1965.
 Мороз В. И., Физика планет, изд-во «Наука», М., 1964.
 Теффель В. Г., Планеты-гиганты, изд-во «Наука», М., 1964.

* Сейчас усиленно обсуждается вопрос о запуске космической автоматической станции по так называемому Большому Кругу. Благоприятное расположение планет позволило бы этой станции пролететь за 8,9 лет мимо Юпитера, Сатурна, Урана и достичь Нептуна. Пролетая мимо каждой планеты, станция будет ускоряться ее притяжением, что позволит сократить срок полета к Нептуну более чем в три раза. Использовать сочетание положения планет можно, запустив космическую станцию 7 октября 1978 г. Вторая такая благоприятная возможность будет лишь в XXI веке. — *Прим. ред.*

Название главы ассоциируется в нашем сознании с единственной планетой — Марсом. Каналы Марса или, вернее, их истолкование повышают кровяное давление не у одного астронома. Марсианские каналы вызвали такое волнение и ожесточенные споры, как если бы Марс оказался точным кубом или тетраэдром, обращающимся вокруг Солнца. Эти тонкие, эфемерные намеки на линии не всегда могли заметить даже лучшие наблюдатели мира, работавшие на первоклассных телескопах. Однако другие наблюдатели в моменты наибольшего спокойствия земной атмосферы видели в окуляр телескопа кристально ясную картину сети тонких линий на поверхности Марса. Только самое острое зрение способно охватить эту картину, которая потом может быть нанесена на карты.

Марсианские каналы подобны летающим тарелкам в том смысле, что не всем выпадает честь их увидеть, но почти все признают, что в поле зрения нечто имеется. Спор вспыхивает тогда, когда кто-либо относит это явление к деятельности мыслящих существ. Странно, неправда ли, что те же самые ученые, которые исповедуют кривизну пространства, теорию Большого Взрыва и другие идеи, столь непривычные человеческому опыту, не могут согласиться с разумностью гипотезы о *существовании жизни на других мирах*? Некоторые ученые (хотя, конечно, и не все) так же неохотно расстаются с мыслью о том, что Земля — не центр жизни, как критики Коперника — с идеей о положении Земли в центре Вселенной. История марсианских каналов и догадок о том, что они собой представляют, — одна из самых захватывающих в астрономии. Если к этому еще добавить любопытную психологию защитников *жизни и отсутствия жизни*, то она становится необычайно привлекательной.

Прежде всего, что нужно для того, чтобы увидеть эти легендарные каналы? Требуется хороший телескоп, хорошее местоположение и хорошее зрение. Так и подмывает добавить — хорошее воображение. Некоторые наблюдатели каналов, изо-

бражая то, что они видят (или полагают, что видят), обращались с пером несколько свободно. Их уравнивают те, кто уверен, что видеть нечего, и которые поэтому ничего не видят.

Человеческий глаз представляет собой поразительный оптический инструмент, приданный несравненной вычислительной машине — мозгу. В звездной астрономии человеческий глаз у телескопа вытеснен фотопленкой и фотометрами, потому что глаз и мозг не могут справиться с тысячами изображений различной интенсивности, усеваящих звездную пластинку. Однако для планетной астрономии комбинация глаз — мозг является непревзойденной. В ясные ночи, вдали от городских огней, астрономы, исследующие планеты, направляют на эти небесные тела свои телескопы и, если им повезет, видят не размытые грязные изображения, получающиеся на пленке, а многоцветные шары, заманчиво плывущие в мировом пространстве и покрытые какими-то еле заметными значками. В лучшие ночи могут быть краткие мгновения, когда атмосфера совсем успокаивается и наблюдатель видит больше подробностей на поверхности планеты, чем за всю свою жизнь у телескопа. Ни одна фотопленка не в состоянии зафиксировать картину, предоставляемую моментами кристальной прозрачности атмосферы, а глаз и мозг могут это сделать.

Система глаз — мозг не просто видит и регистрирует изображения, создаваемые телескопом. Неизвестный нам метод работы глаза и мозга состоит не в простом *прибавлении* или *вычитании* информации о происходящих явлениях. Эта особенность иллюстрируется оптическими иллюзиями. Почти все видели несуществующие пятна на пересечении линий геометрических решеток. В некоторых случаях глаз и мозг «интегрируют» или автоматически «интерпретируют» то, что они видят. Астронавты на орбите видели на Земле поезда, дороги, следы за кормой кораблей, которые казались на первый взгляд недоступными глазу. Позже испытания на Земле показали, насколько невероятно чувствительны глаз и мозг к линейным структурам. Разрешающая способность комбинации глаз — мозг феноменальна, но обманчива, и оба эти обстоятельства важны при рассмотрении истории каналов.

Начало этой истории относится к 1877 г., когда Марс и Земля близко подошли друг к другу, оказавшись в так называемом «великом противостоянии». Через определенные про-

межутки времени, когда происходят эти противостояния и Марс подходит к Земле всего на 55 миллионов километров, почти все подходящие телескопы направляются на эту красную планету. Так было и в 1877 г., когда астрономы занялись улучшением карт поверхности, сделанных во время предыдущих противостояний.

Два обстоятельства сделали это противостояние знаменательным. Прежде всего сотрудник Морской обсерватории США Асаф Холл решил заняться поисками спутников Марса. Их никто никогда не видел, но у некоторых астрономов было предчувствие, что они должны существовать. Усилия Холла не сразу увенчались успехом, и на исходе лета он собрался уже прекратить поиски. И тут жена уговорила его понаблюдать еще одну ночь. В эту ночь, 11 августа 1877 г., Холл обнаружил крохотную луну, обращающуюся очень близко от поверхности Марса. А 17 августа он открыл и второй спутник. Почему эти спутники (названные Фобос и Деймос) не были открыты раньше — загадка, которая странным образом переплетается с проблемой каналов. Фобос и Деймос так малы (всего несколько километров в поперечнике), так близки к поверхности планеты и так сильно отличаются от других лун солнечной системы, что некоторые люди с богатым воображением выдвинули идею о запуске этих спутников марсианами перед противостоянием 1877 г. или о том, что они, быть может, оставлены космическими визитерами. Безусловно, марсиане, способные запустить за орбиту такие чудовищные спутники, легко могли построить каналы, дебют которых состоялся в то же самое время.

«Дебют» — самый подходящий термин, поскольку ряд астрономов за несколько лет до 1877 г. признали существование на поверхности Марса тонких линий. Преподобный Дэвис нанес несколько таких линий на свою карту Марса 1864 г. Однако можно с уверенностью сказать, что первым к каналам привлек внимание широкой публики и научного мира Джуованни Скиапарелли. Ситуация напоминает обстоятельства открытия цикличности солнечных пятен и Большого Красного Пятна, когда слава досталась не первооткрывателю, а публикатору.

Имя Скиапарелли практически неотделимо от марсианских каналов. Скиапарелли в 1854 г. окончил Туринский университет и продолжал свои занятия в Германии под руководством Иоганна Энке и в России под руководством Фридриха Струве.

Наблюдения Марса он проводил в Брерской обсерватории в Милане. Все его блестящие исследования метеоров, Меркурия, Венеры и других тел солнечной системы бледнеют перед более сенсационными работами, связанными с каналами. Первые каналы он заметил в 1877 г., составляя с помощью 9-дюймового рефрактора высокоточную карту поверхности Марса. В противостоянии 1881—1882 гг., когда Марс находился дальше, видимость оказалась превосходной и участки, которые в 1877 г. были видны расплывчато, стали видны ясно, позволив (по крайней мере Скиапарелли) увидеть много тонких линий, образующих сложную картину. Некоторые линии, казавшиеся в 1877 г. одинарными, теперь выглядели двойными — произошло «раздвоение» линий. Скиапарелли обнаружил как сами каналы, так и две их самые обескураживающие особенности — «привычку» появляться и исчезать и способность раздваиваться. Какая устойчивая физическая особенность поверхности планеты могла подвергаться такой метаморфозе? Не происходило ли все это в голове Скиапарелли?

Скиапарелли увидел, как он сам говорит, следующее: «Все огромное пространство континентов покрыто сетью тонких линий или тонких полосок более или менее отчетливого темного цвета... Они тянутся на большие расстояния по поверхности планеты в виде геометрически правильных линий, которые совершенно не похожи на извивающиеся русла наших рек. Некоторые, самые короткие из них, не достигают и 500 км, другие же тянутся на тысячи... Одни из них увидеть легко, другие — чрезвычайно трудно; они напоминают тончайшую паутинную сеть, натянутую на диск». Это описание каналов, как они видны в телескоп, с 1877 г. сильно не изменилось. Большие телескопы не могут преодолеть турбулентность атмосферы.

Несомненно, искусственный вид зарисованных Скиапарелли каналов произвел на него впечатление, но сам он воздержался от необдуманных выводов. Он назвал эти линии «canali»; основное значение этого слова по-итальянски — «естественные каналы» или «русла». На английский язык «canali» были переведены как «каналы» со значением искусственности, присущим этому слову. Именно это значение спасло доклад Скиапарелли, представленный Королевской национальной академией в Риме, от забвения в запыленных архивах.

Широкая публикация карт Скиапарелли с их гигантской сетью пересекающихся «каналов» вызвала взрыв человеческих эмоций. Сотни лет, с тех пор как другие планеты были признаны сестрами Земли, обращающимися вокруг одного и того же Солнца, человеческое воображение населяло их мыслящими существами, большей частью — тоже людьми. Каналы казались *прямым* доказательством существования другого разума или, как само собой разумелось, других людей. Они подтверждали рассуждения философов и утешали человека, почувствовавшего себя одиноким во Вселенной, которая благодаря развивающейся астрономии стала казаться ему огромной и чуждой.

С печатных машин посыпались популярные книги о Марсе, его обитателях и их великих водных путях. Нетерпеливая публика читала книгу профессора Якоба Шмика «Планета Марс — вторая Земля». Все это дело напоминает ажиотаж вокруг летающих тарелок в начале 50-х годов нашего века. Возможно, наилучшим барометром отношения человечества к Марсу было учреждение в 1900 г. Кларой Гоге премии имени Пьера Гузмана размером в 100 000 золотых франков, которая должна была быть выплачена человеку, первым установившему связь с другой звездой *помимо Марса*. Марс казался уже слишком легкой целью, чтобы давать за него премию. Такое наследство оставил Скиапарелли.

Скиапарелли занял довольно объективную позицию в вопросе о каналах: «Их исключительный облик привел к тому, что некоторые видят в них результат деятельности мыслящих существ. Я воздержусь от борьбы с этим предположением, в котором нет ничего невозможного». В свете современной науки марсианские каналы кажутся менее искусственными, чем в дни Скиапарелли, но его осторожные высказывания пригодны и в наше время. И сейчас имеется много людей, которые *верят* в то, что Марс обитаем, или страстно *желают этого*.

Как же реагировал научный мир на наблюдения Скиапарелли и фантазии широкой публики? Многие отклоняли гипотезу о разумной жизни как ненужную и ничем не оправданную, а другие искали чисто физических объяснений. Требовались новые данные. Во время протостояния 1881—1882 гг. Анри Перротин в Ницце и Стенли Вильямс в Англии видели не только каналы, но и эффект раздвоения, открытый Скиапарелли во время этого особенно благоприятного периода наблюдений.

Поразило всех также и то, что темные области на Марсе стали еще темнее весной, когда растаяли полярные шапки, и светлее зимой, когда полярные шапки возникли снова. Было замечено несколько облаков, но большей частью Марс казался пустыней. Скиапарелли обнаружил также круглые пятна в местах пересечения нескольких каналов. Следуя водной терминологии, он назвал эти пятна «озерами», и на этот раз при переводе никаких недоразумений не было: Скиапарелли определенно считал, что на Марсе вода есть. Во время противостояния 1892 г. американский астроном Вильям Пикеринг заметил, что в местах пересечения двух каналов видны даже более мелкие пятна. Он назвал эти пятна «оазисами», после чего марсианские пустыни стали представлять усеянными источниками воды, прикрытыми деревьями. Между прочим Пикеринг верил, что даже на Луне есть жизнь, и не удивительно, что он оказался в лагере сторонников жизни в ожесточенной битве о каналах, разгоравшейся с новой силой.

Эпоха Скиапарелли окончилась примерно в начале нового столетия. К настоящему времени мы получили о каналах немногим больше фундаментальных данных, но наша точка зрения на них совершенно иная. В 1900 г. большинство образованных любителей астрономии верили в то, что Марс населен разумными существами, эффективно использующими в борьбе с засухой свои ограниченные водные ресурсы с помощью колоссальной системы каналов. Сама мысль о марсианах, меняющих облик всей планеты для того, чтобы выжить, вполне соответствовала викторианскому представлению о человеке как хозяине своей судьбы.

Ученые были осторожны, но имелось слишком мало данных, чтобы построить другие разумные гипотезы. Оставалось еще много астрономов, которые никогда не видели каналов. В 1897 г. Дж. Джолли в докладе Дублинскому Королевскому обществу заявил, что на самом деле каналы представляют собой борозды, возникшие в результате гравитационного притяжения астероидов, которые перед падением на поверхность планеты летят параллельно ей на очень близком расстоянии. Скиапарелли предположил, что каналы могут быть естественными трещинами в поверхности планеты, вызванными обычными геологическими силами. Согласно одной модели, Марс был покрыт водой и густо растущими водорослями разного цвета, а каналы —

это участки, на которых быстрое течение раздвигает водоросли. Трудно было найти естественное объяснение геометрической точности марсианских каналов. Гипотеза о разумной жизни в конце концов была не такой уж невероятной.

Сравните ситуацию с каналами в 1900 г. с помешательством на летающих тарелках спустя 50 лет. Что-то наблюдается, но воспроизводимых данных недостаточно для построения действительно обоснованных моделей или гипотез. Разыгрывается воображение, и бушуют страсти. Подобные сражения ведутся и по поводу природы квазаров, но на более объективной основе. Споры—это неотъемлемая часть научного метода. Они выходят из-под контроля только тогда, когда дело касается внеземной жизни, сверхчувственного восприятия, эволюции и аналогичных проблем переднего края науки. Ученые могут говорить почти все о недоступности атомов и звезд, но в тот момент, когда упоминают о жизни, особенно о жизни разумной, в борьбу вступают любители, чудаки, религиозные люди, и борьба переходит на страницы газет, амвоны церквей и экраны телевизоров.

Страсти вокруг марсианских каналов вновь разжег Персиваль Лоуэлл в первом десятилетии нашего века. Он был вооружен фактами немногим лучше Скиапарелли, но вел огонь из своих орудий с большим разрушительным эффектом. Лоуэлл был человеком одержимым, и его исследования марсианских каналов влияют даже на современную науку. История его жизни и деятельности любопытна и включает много неожиданных поворотов.

Вряд ли Персиваля Лоуэлла можно считать подлинным членом семьи астрономов, но у него была солидная подготовка. Он окончил Гарвардский университет и происходил из аристократической бостонской семьи Лоуэллов. Поэтесса Эми Лоуэлл—его сестра, а его брат стал президентом Гарвардского университета. Его генеалогическое древо было настолько внушительным, что в некоторых английских изданиях его называли *сэр* Персиваль Лоуэлл. Какова бы ни была его родословная, он не имел формального астрономического образования или подготовки. Что у него действительно было—это деньги.

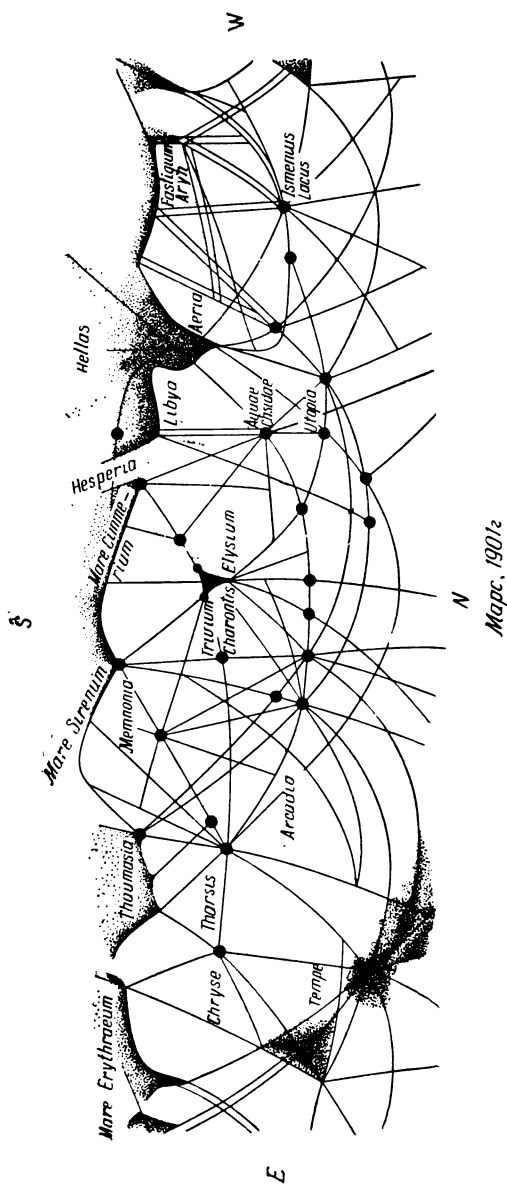
После окончания Гарвардского университета Лоуэлл путешествовал, немного занимался делами, как этого и следовало ожидать от независимого богатого молодого американца викторианской эры. Но вот он прочел отчеты Скиапарелли об иссле-

дованиях Марса — и жизнь его преобразилась. Вместо того чтобы вкладывать свои капиталы в яхты и виллы на морском берегу, он строит Лоуэлловскую обсерваторию во Флагстаффе, на высотах Аризоны с ясным и чистым воздухом. Сразу же после открытия обсерватории в 1894 г. он приступил к наблюдениям Марса. Так началась лоуэлловская эра в истории марсианских каналов.

Следует признать, что Персиваль Лоуэлл был талантливым человеком и выдающимся астрономом и математиком, несмотря на отсутствие специальной подготовки и патриархальные взгляды. Он предсказал положение Плутона (назвав его планетой-Х) по возмущениям Урана, вызываемым этой планетой, но открыть его сам не смог. (Интересно, что маленький Плутон был в конце концов отыскан среди сотен тысяч окружающих звезд в 1920 г. Клайдом Томбо на Лоуэлловской обсерватории. Томбо и в наши дни вносит весомый вклад в исследования Марса.)

Благодаря чистому воздуху и хорошему телескопу (24-дюймовый рефлексор) Лоуэлл составил гораздо более детальные карты поверхности Марса, чем его предшественник Скиапарелли. Он нанес на карту сотни каналов и увидел, что некоторые из них проникают в темные области Марса. Когда Лоуэлл заметил, что каналы темнеют вместе с темными участками планеты во время марсианской весны, он пришел к выводу, что вода в них течет от полюсов, давая жизнь широким полосам растительности вдоль берегов каналов. Из-за растительности каналы становятся более заметными, подобно тому как взор астронавта легче обнаружил бы реку Нил благодаря возделываемым вдоль нее посевам. Прямолинейность, точность, раздвоение и организация сети каналов предполагали искусственность. К первой книге Лоуэлла публика была хорошо подготовлена Скиапарелли и почти двадцатилетними спекулятивными рассуждениями в широкой прессе. Книга «Марс» была издана в 1895 г. в Бостоне. Еще большее влияние оказала книга Лоуэлла «Марс и его каналы», вышедшая в 1900 г. и еще лучше отшлифовавшая модель разумной жизни на Марсе.

Модель Марса Лоуэлла мало чем отличалась от описанных выше моделей жизни на Марсе. Он не занимал более крайних позиций. Его данные были лучше увязаны: они были лучше организованы и более убедительны. Нарисованная Лоуэллом картина разумного общества, борющегося за свое существование



Р и с. 27. Составленная Лоуэллом карта Марса в меркаторской проекции, показывающая основные наблюдавшиеся им каналы. Черные точки изображают оазисы. Многие каналы, изображенные в этой проекции кривыми, на самом деле представляют отрезки больших кругов. Если согласиться с такой картой каналов, то придется согласиться и с тем, что они искусственные. На подробных картах Лоуэлла показано около 700 каналов.

на почти безводной планете, задела чувствительную струну в душе человека. Публика поражалась тысячекилометровым каналам, по которым текла к марсианским городам в пустынях жизненная влага планеты — нашего старого и, возможно, умирающего небесного соседа. Если бы тогда имелись ракеты, способные доставить воду жаждущим марсианам, то по подписке было бы легко собрать достаточно средств, чтобы осуществить эту операцию.

Работы Лоуэлла вызвали не только жалость к борющимся марсианам, но и другое чувство: стремление иметь мирную объединенную планету. Лоуэлл считал, что марсиане подняли свою цивилизацию до очень большой высоты и объединили всю планету в процессе борьбы с природой. В книге «Марс и его каналы» он писал: «Война для нас является пережитком первобытного состояния и привлекает теперь в основном драчливых мальчишек и безответственные элементы. Самые мудрые понимают, что для проявления героизма имеются лучшие возможности и более определенные цели в борьбе за существование. Война — это то состояние, которое человечество перерастает». Эти слова, похожие на высказывания Г. Уэллса, привлекли к нему, должно быть, много сторонников, несмотря на то, что его гипотеза не была подтверждена.

Лоуэлловская модель Марса представлялась многим астрономам вполне разумной, за исключением той ее части, которая касалась разумной жизни. Эти астрономы видели каналы и подтверждали многое из того, что наблюдал Лоуэлл; некоторые использовали флагстаффский инструмент и работали вместе с Лоуэллом. Марс представлялся Землей, более отдаленной от Солнца и поэтому холодной, сухой и уже пережившей период расцвета.

Однако многие другие ученые не хотели иметь ничего общего ни с Лоуэллом, ни с его марсианскими водными путями. Они могли вести наступление на него не только научной аргументацией, но и еще в двух направлениях (как они делают это сегодня, когда наука хочет потопить какого-либо возмутителя спокойствия), а именно осмеянием и простым отрицанием всего того, что наблюдается. Осмеяние не остановило Лоуэлла, и, поскольку благодаря своему богатству он чувствовал себя независимым, он мог считать свое положение в научном мире второстепенным обстоятельством по сравнению с главным делом

жизни — Марсом. Совсем другим видом наступления было полное отрицание марсианских каналов; наступление это приобрело еще значительно бóльшую силу после того, как Лоуэлл сообщил о своих наблюдениях линий (он не назвал их каналами) на Меркурии, Венере и некоторых спутниках Юпитера. Он использовал какие-то видимые детали на Меркурии для определения его периода вращения. Эффект «колеса телеги» Лоуэлла в отношении Венеры согласуется теперь с одной из моделей структуры атмосферы этой планеты. Никто другой не видел линий на этих дисках, а некоторые из лучших наблюдателей так и не разглядели каналов на Марсе. Асаф Холл, открывший Деймос и Фобос, которых до него никто не мог заметить, не увидел марсианских каналов. Не увидели их и американские астрономы Эдвард Барнард и Джордж Хейл, вооруженные великолепными инструментами. Также не удалось их увидеть астрономам Северной Европы. Многие категорически заявили, что каналы не существуют. При этом они не грешили против истины: возможно, условия видимости в их районах не позволяли увидеть каналы.

Один из ученых — английский натуралист Альфред Рассел Уоллес, создавший вместе с Дарвином теорию эволюции, — считал Лоуэлла мошенником. Уоллеса попросили сделать обзор книг Лоуэлла. Читая о борьбе марсиан за сохранение исчезающих водных запасов, он пришел в ярость от теории Лоуэлла. Рецензия на книгу раздулась в целую книгу под названием «Обитаем ли Марс?» (Лондон, 1907). Обратившись от естественной истории к физике планет, Уоллес заявил, что все ученые знают о господстве на Марсе низких температур и о *полном отсутствии на нем воды*. По словам Уоллеса, Марс «абсолютно необитаем». Выводы Уоллеса о температуре и воде на Марсе были ошибочными и в высшей степени ненаучными*. Это яркий пример того, как в споре о жизни на Марсе люди теряют логику и способность рационально мыслить. Одним ценным побочным продуктом критики Уоллеса было широкое рас-

* Автор, по-видимому, имеет в виду то, что в те времена *невозможно* было оценить содержание воды на Марсе и определить его поверхностную температуру. Теперь марсианская температура определена довольно точно, и в общем она сравнительно низка. Существует ли на Марсе вода в свободном состоянии, пока неясно. — *Прим. ред.*

пространение его мысли о том, что каналы могут являться трещинами в мантии Марса, образовавшимися при сжатии ядра.

Не такой крайней была позиция сторонников идеи оптического обмана: Лоуэлл и другие лица, заявлявшие, что они видят каналы, на самом деле что-то наблюдали, скорее всего точки, черточки и пятна, которые глаз и мозг воспринимали как прямые линии. Что-то на Марсе было, но представление об искусственных каналах создавалось комбинацией глаз — мозг. Позицию сторонников оптического обмана укрепил знаменитый эксперимент. В 1903 г. английский астроном Э. Маундер показал группе школьников ряд рисунков Марса, на которых вместо каналов стояло по нескольку точек. Перерисовывая эти изображения издали, многие школьники провели резкие линии каналов. Очевидно, эта сеть каналов явилась результатом обмана зрения. Лоуэлл верил в свои собственные наблюдения и игнорировал «теорию маленьких мальчиков», как он ее назвал. Другой английский астроном Патрик Мур в своей книге «Путеводитель по Марсу» (Лондон, 1965) рассказывает, что он в 1950 г. повторил опыт Маундера, используя вместо каналов отдельные точки и штрихи. Результаты были гораздо менее убедительными, чем у Маундера. Подобные испытания напоминают нынешние «эксперименты» с воздушными шарами и другими летающими объектами, которые по идее должны были порождать «зрительный образ» летающих тарелок. Если на самом деле на поверхности Марса имеются линейные сочетания точек и штрихов, то такое правильное геометрическое расположение должно чем-то порождаться.

Возможно, марсианские каналы *действительно* представляют собой линейные сочетания точек и штрихов, как показывают последние исследования. Однако проблеме «существования» каналов не пришлось долго ждать решения. Некоторые из самых больших каналов наконец получились на фотографиях Э. Слайфера 1921 г. в виде тонких штрихов. Любители тоже продолжали видеть каналы даже с помощью маленьких телескопов и всегда в одних и тех же местах. Важное значение имеют острота зрения, качество инструмента и его расположение. Современные астрономы охотно признают, что каналы — реальные, хотя, возможно, и не непрерывные особенности поверхности. Большая часть дыма сражений лоуэлловского периода рассея-

лась, и новые факты заставили всех «экстремистов» сблизить свои точки зрения.

Усилия Лоуэлла привели к тому, что астрономы исследовали Марс более тщательно, чем любую другую планету, и это сослужило добрую службу всей науке. Персиваль Лоуэлл скончался во Флагстаффе 12 ноября 1916 г. Начатое им сражение еще не закончилось, но его участники кажутся более умеренными, и не исключено, что наука в целом смотрит на Персиваля Лоуэлла сейчас более благосклонно, несмотря на спорность написанных им книг. Телескоп Лоуэлловской обсерватории продолжает исследовать ясное аризонское небо и имеет завидные заслуги перед наукой. Книги о Марсе и обсерватория — вполне подходящие памятники для этого необычного человека.

Первая мировая война прекратила спор о каналах, и в него уже никогда не вступал человек с лоуэлловской энергией, фанатизмом и богатством, необходимыми для проведения исследований вопреки единодушно установившемуся научному мнению. В 20-х годах популярные книги все еще громогласно поддерживали позицию Лоуэлла, но в основном потому, что это способствовало их распространению, а не из-за открытия новых данных. Такие новые данные, опровергающие или поддерживающие Лоуэлла, получить было трудно. Видимость деталей планеты ограничена причудами нашей атмосферы и остротой зрения наблюдателя, а не размерами телескопа. Лоуэлл и его современники уже работали на пределе, и это одна из причин, почему наблюдатели во всем мире не всегда могли воспроизвести его рисунки. Со времени смерти Лоуэлла в мельницу науки было добавлено лишь немного зерна.

Французский астроном О. Дольфюс изучал Марс в течение многих лет. В 1948 г. он опубликовал в журнале «Comptes Rendus» статью, в которой писал, что во время наблюдений марсианских каналов видел, как некоторые из них распадаются на неправильные отдельные пятнышки. Исследование деталей структуры каналов — это более высокая ступень, чем наблюдения самих каналов; оно несколько напоминает нам открытие элементарных частиц, из которых состоит атомное ядро. Дольфюс работал с 24-дюймовым рефрактором (телескоп тех же размеров, какой был у Лоуэлла) на обсерватории Пик дю Миди во французских Пиренеях. Эта обсерватория расположена на высоте около 3 тысяч метров, и условия видимости на ней по край-

ней мере не хуже, чем на Лоуэлловской. Дольфюс выделил три группы каналов:

1. Широкие, тенистые, обладающие полосообразной структурой.
2. Узкие, более правильные черточки.
3. Нитеобразные, абсолютные черные линии, кажущиеся искусственными.

Вот эти линии последней категории на глазах у Дольфюса рассыпались на пятнышки различной формы при идеальных условиях видимости. Фотографии, полученные автоматической межпланетной станцией «Маринер-4», показывают густо усеянную кратерами поверхность Марса. Поэтому большое значение приобретает тот факт, что Дольфюс и его сотрудники разглядели такие же детали тонкой структуры (пятнышки) в темных областях Марса. Полосчатые структуры лунной поверхности аналогичным образом распадаются на тонкие детали, если их рассматривать в телескоп высокой разрешающей способности. Данные, полученные станцией «Маринер-4», свидетельствуют о том, что поверхность Марса очень похожа на лунную. Линии, состоящие из пятнышек, почти так же настойчиво требуют объяснения, как непрерывные борозды или «каналы», хотя они ассоциируются с героическими марсианами, отчаянно борющимися за сохранение своих драгоценных водных запасов.

Другой особенностью каналов, подмеченной в последние годы, является их изменчивость — не степень видимости, а изменчивость их структуры и степени почернения. Ж. де Вокулёр привел два хорошо обоснованных примера, которые должна объяснить любая гипотеза каналов. Канал Нефеса — Тота приобрел печальную известность благодаря своей изменчивости. Он был слабым и узким в 1939 г., в 1941 г. казалось, что он удвоился (явление раздвоения), а в 1958 г. предстал как широкая темная полоса. Это изменение, часто наблюдавшееся в прошлом, неоднократно подтверждалось фотографиями. Что-то происходит на Марсе, а не в атмосфере Земли или в сознании наблюдателя.

Де Вокулёр также заново открыл канал *Erinnys*, который был замечен и нанесен на карту Скиапарелли, а затем исчез с марсианских карт (даже Лоуэлла) на 60 лет. С 1941 г., когда де Вокулёр впервые заметил его новое появление, *Erinnys* стал очень темным и хорошо заметным. Связанный с ним оазис со-

вершенно новый; он не наносился ни на одну старую карту. Марсианские каналы появляются и исчезают, как Большое Красное Пятно Юпитера. Детали на планетах не остаются неизменными, и, возможно, это вызывается общей причиной, о которой мы можем только догадываться.

Другой недавно подтвердившейся особенностью Марса являются яркие случайные «вспышки» на его поверхности. Вспышки происходят редко, но японские астрономы в 1958 г. сообщили о нескольких. Обычно вспышки длятся лишь несколько минут, а затем исчезают. После вспышек часто образуются облака. Многие ученые считают вспышки сильными вулканическими извержениями на Марсе. Если Марс сохранил свою вулканическую активность, то выбрасываемый пепел может попасть в естественные каналоподобные образования и улучшать их видимость. (Вспышки происходят и на Луне. Более полно мы рассмотрим этот вопрос в гл. 10.)

Если не лететь на Марс, то можно ли каким-нибудь другим путем установить, искусственные ли это сооружения или вообще выдумка? Выпавший снег, трещины в иле, трещины вокруг кратеров вулканов и многие другие чисто естественные явления создают довольно правильную картину, которая может привести далекого наблюдателя к ошибочной мысли об их искусственности. Если существует сеть взаимосвязанных линий, то отрасль математики, называемая *топологией*, позволяет нам измерить «степень связности». Чем выше степень связности, тем больше путей существует между точками пересечения и тем более свободно между такими точками может протекать торговля, вода и все, что угодно. В сети, созданной разумными существами, пункты пересечения, конечно, представляют собой города, телефонные узлы и т. п. Другими словами, мыслящие существа в масштабе планеты связаны многими путями. Целью анализа сетей является измерение и сравнение степени связности естественных сетей, сетей, созданных человеком, и системы марсианских каналов. В 1961 г. на Вашингтонском конгрессе Международной астронавтической федерации В. Вебб доложил результаты такого анализа. Он показал, что марсианские каналы имеют примерно такую же степень связности, что и сеть железных дорог штатов Айова и Огайо, и что эта степень гораздо выше степени связности естественных трещин в лаве, ледниках и известковых породах. Конечно, подобная статистика весьма

соблазнительна, но она ничего не доказывает. На Марсе могут наблюдаться явления естественного растрескивания, характеризующиеся гораздо большей организованностью, чем выбранные для сравнения земные примеры.

Приводимое ниже «современное представление» о Марсе и его каналах отрицает как культ каналов, так и скептическое отношение к ним, поскольку оно не склоняется ни к каким крайним взглядам.

Марс — планета холодная и сухая. Небольшое количество воды на ней имеется. На экваторе температура иногда поднимается значительно выше точки замерзания воды. Марс обладает разреженной атмосферой, содержащей углекислый газ, но, по-видимому, очень мало кислорода. Атмосферное давление на поверхности составляет 1—2% соответствующего давления на Земле. На Марсе наблюдались облака различных типов. Полагают, что поверхность Марса совершенно ровная и, как показали снимки, переданные станцией «Маринер-4», испещрена кратерами. Теперь считают, что полярные шапки состоят из воды, возможно в виде инея, или из замерзшего углекислого газа; когда эти шапки тают, то сине-зеленые участки и области каналов темнеют, по мере того как весенняя «волна оживания» распространяется к экватору. Спектр темных участков Марса подозрительно похож на спектр, испускаемый растительностью, но напоминает также и спектр других веществ, например дейтерия.

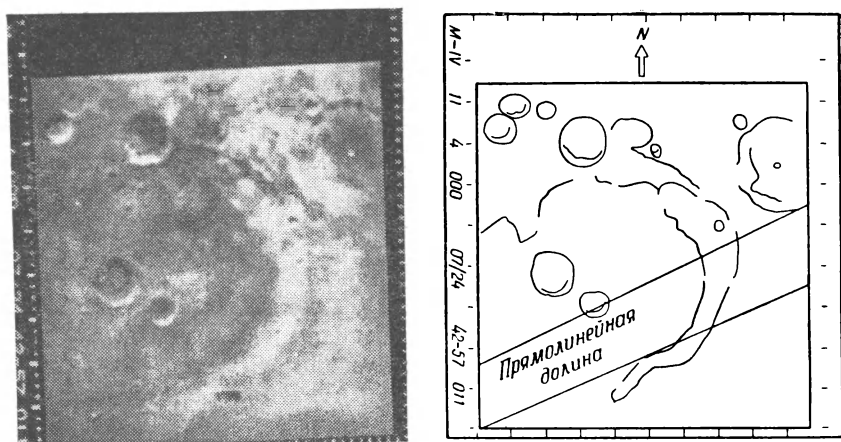
Что же касается каналов, то большинство астрономов подписалось бы под следующими утверждениями:

1. Каналы (или «трещины») существуют; теперь это отрицают лишь немногие.
2. Некоторые каналы двойные, и раздвоение наблюдается.
3. На пересечениях каналов существуют оазисы.
4. Каналы связаны в единую сеть, но не обязательно непрерывную или искусственную.
5. Видимость каналов в разные сезоны меняется.
6. Каналы не могут быть водными путями из-за скудности воды на Марсе.

К этим результатам астрономов привели одни лишь телескопические наблюдения. Что нового внесли в эту картину фотографии, сделанные станцией «Маринер-4»? Когда эта станция проходила 15 июля 1965 г. на расстоянии 13 300 км от поверх-

ности Марса, она с помощью камеры телевизионного типа получила серию из 16 фотографий поверхности. На этих фотографиях видна изрытая кратерами планета, строение поверхности которой напоминает Луну. Некоторые ученые и раньше предполагали присутствие на Марсе кратеров, но тем не менее последние фотографии поразили всех и особенно тех, кто, так же как и Лоуэлл, видел на Марсе пустыни, темно-зеленые участки растительности и колоссальные ирригационные каналы. Станция «Маринер-4» передала телевизионные изображения планеты, представляющей собой безжизненную, безводную и покрытую оспинками. Предварительный анализ, произведенный учеными в Лаборатории ракетных двигателей в Пасадене, показал, что ни на одной фотографии нет никаких следов крупных каналов, которые должны были быть на некоторых снимках. Это, казалось, полностью отменяло результаты работы четырех поколений наблюдателей каналов.

В ковбойской мелодраме кавалерия всегда появляется в нужный момент, чтобы спасти положение. За кулисами скопилось много кавалеристов, стремившихся спасти гипотезу каналов или по крайней мере репутацию сотен астрономов, которые видели каналы собственными глазами. И не успели еще астрономы-консерваторы сказать: «Я говорил вам, что их там никогда не было», как появились статьи, указывающие, что на нескольких снимках «Маринера-4» имеются линейные особенности как раз там, где земная астрономия расположила каналы. В своей статье «На Марсе есть «каналы» (журнал «Spaceflight», февраль 1966 г.) Эрик Берджес отождествляет хорошо известный канал с трещиной, проходящей по диагонали на фотографии № 11 «Маринера-4» (см. рис. 28). Берджес заявляет, что и на других снимках имеются подобные свидетельства растрескивания планеты в широких масштабах. По-видимому, издали эти трещины довольно отчетливо выделяются на фоне кратеров и других неровностей почвы, подобно тому как земные дороги бросаются в глаза космонавтам. Любитель не видит стен этих трещин, но сравнение фотографий «Маринера-4» с рисунком Берджеса действительно показывает существование двух параллельных откосов, расстояние между которыми составляет около 50 км. Никто не утверждает, что на снимках «Маринера-4» видна деятельность мыслящих существ.



Р и с. 28. Фотография № 11, полученная станцией «Маринер-4», и рисунок Берджеса, показывающий прямолинейную расселину. На некоторых фотографиях, переданных «Маринером», видны «линейные особенности» в тех местах, где в телескоп наблюдаются каналы (по статье Берджеса в журнале «Spaceflight», февраль 1966 г.)

Что же такое марсианские каналы в свете 90 лет телескопических наблюдений и 16 фотографических снимков межпланетной станции? Ответить на это никто точно не может, но перечень возможностей заметно сократился. Существует два вида гипотез, которые нужно сочетать для получения жизнеспособной модели каналов. Во-первых, нужно постулировать механизм (скорее всего геологический), который может создать длинные, прямые, пересекающиеся детали поверхности. Во-вторых, нужно разработать схему, объясняющую, почему изменяется видимость этих деталей поверхности в земные телескопы.

Обращаясь сначала к проблеме образования деталей поверхности, мы оказываемся перед следующим выбором: линейные цепи вулканов, длинные вулканические «дамбы» из расплавленной породы, выдавленной на поверхность, линейное расположение метеоритных кратеров (возможно, вызванное метеоритными дождями), трещины поверхности, тянущиеся по всей планете, появившиеся в результате столкновения с крупными

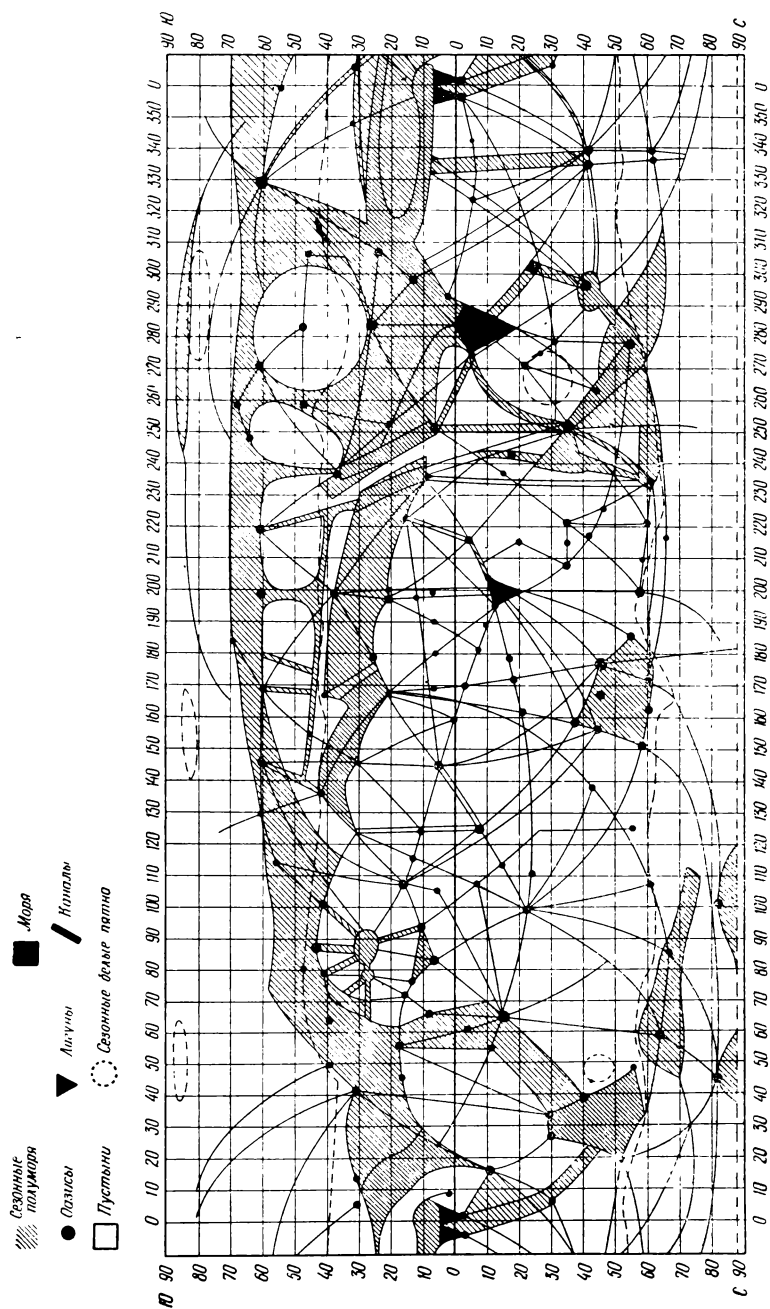


Рис. 29. Карта Марса, составленная Клайдом Томбо, не обладает точностью карт Лоуэлла и передает разный характер изображений планеты в телескопе.

астероидами, и линейные деформации коры, связанные с естественными сдвигами коры в процессе охлаждения планеты. На основании земного опыта можно сказать, что сеть линейных деталей скорее всего образуется в процессах деформации и расстрескивания.

Был предложен ряд неорганических химических и биологических явлений, которые делали бы детали поверхности видимыми при изменении сезонов на Марсе. Если на Марсе существуют многочисленные вулканы (как можно предположить по наблюдаемым вспышкам), извергаемый пепел мог бы собираться в низких местах; однако вряд ли деятельность вулканов может носить сезонный характер. Более вероятны гипотезы, по которым в низких местах поверхности Марса может скапливаться вода, водяные пары и (или) тяжелые газы; эти места могут быть значительно теплее, чем окружающие возвышенности. В веществах, слагающих поверхность, могут происходить химические изменения, связанные с различным поступлением влаги и газов в разные сезоны. Аналогичные рассуждения применимы к растительным формам жизни, существование которых весьма возможно в полостях и трещинах. Одно ясно: телескопические исследования, проводимые с Земли, вряд ли могут сказать, какая из этих гипотез правильна (а может быть, все они ошибочны).

Хотя в настоящее время предпочтительны чисто естественные причины объяснения марсианских каналов, существующие данные можно использовать и для утверждения об их искусственном происхождении. Не исключено, что трещины, заметные на некоторых фотографиях «Маринера-4», представляют собой подвергшиеся сильной эрозии и усыпанные кратерами древние водные пути, построенные в другую геологическую эпоху, когда на Марсе еще было изобилие воды. Эта гипотеза весьма маловероятна, но тех, кто верит в разумную жизнь на Марсе, никогда ничем не убедишь до тех пор, пока люди наконец не высадятся на самой планете и либо вовсе не найдут марсиан, либо будут представлены марсианскому правительству.

Таким образом, мы подошли к вопросу о подготовке путешествия на Марс, которое в конце концов обязательно состоится. Несомненно, чтобы избежать ненужного риска, до полета космонавтов к Марсу будут направлены многочисленные меж-

планетные автоматические станции. NASA планирует дальнейшие запуски к Марсу облетных станций типа «Маринер», которые будут находиться вблизи планеты лишь несколько часов и в течение этого времени должны провести свои измерения. Однако новые фотографии других областей Марса окажутся весьма нужными. За станциями, облетающими Марс, последуют запуски искусственных спутников Марса и аппаратов, которые опустятся на его поверхность. Искусственные спутники Марса могли бы наблюдать большую часть планеты с помощью телевизионных камер, подобно метеорологическим спутникам «Тирос» и «Нимбус». Аппараты, которые совершат мягкую посадку в районе темных областей и даже самих каналов (в конце концов, ширина каналов достигает десятков, а иногда и сотен километров), могли бы проводить физические и химические исследования окружающей местности. В таких аппаратах важнейшее значение будут иметь приборы для выявления жизни (см. гл. 11). NASA надеется провести такие исследования в течение ближайших 10—20 лет по программе «Вояджер». Несмотря на разнообразие приборов на автоматических межпланетных станциях, весьма возможно, что с их помощью удастся обнаружить такую неуловимую особенность планет, как жизнь. Поверхность Марса может оказаться столь непохожей на то, чего мы ожидаем, что наши наивные эксперименты, возможно, не охватят всех ее особенностей. Камера на поверхности Марса может и не увидеть такие крупномасштабные детали, как каналы.

По-видимому, лишь полеты человека на Марс, которые начнутся в 80-х годах, раз и навсегда решат вопрос о каналах. Когда диск Марса станет заполнять иллюминатор космического корабля, космонавты увидят, как меняются детали поверхности с изменением расстояния. Возможно, с расстояния в 150 000 км они увидят резко очерченные каналы, а приблизившись до 15 000 км, заметят, что каналы распались на кратеры и неровности поверхности. Оказавшись на планете, геологи смогут приступить к изучению «линейных особенностей», замеченных некоторыми исследователями на снимках, переданных в 1965 г. станцией «Маринер-4», а другие ученые займутся химическим и биологическим анализом поверхности. Конечно, если космонавты приведутся в один из каналов, Лоуэлл будет отомщен самым эффектным образом.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- American Institute of Aeronautics and Astronautics, AIAA/AAS Stepping Stones to Mars Meeting, AIAA, New York, 1966.
- Asimov I., Asimov's Biographical Encyclopedia of Science and Technology, Doubleday & Company, New York, 1964.
- Branley F. M., Mars, Planet Number Four, Thomas Y. Crowell Company, New York, 1962.
- Glasstone S., Sourcebook on the Space Sciences, D. Van Nostrand Company, Princeton, 1965.
- Hall J. S., The Photographic Story of Mars, Sky Publishing Company, Cambridge, 1962.
- Ley W., Watchers of the Skies, The Viking Press, New York, 1963.
- Ley W., von Braun W., The Exploration of Mars, The Viking Press, New York, 1956.
- Lowell P., Mars, Houghton, Mifflin, Boston, 1895.
- Moore P., Guide to Mars, Frederick Muller, London, 1965.
- Morganthaler G. W., ed. Exploration of Mars, Western Periodicals Co., North Hollywood, 1963.
- Whipple F. L., Earth, Moon, and Planets, Harvard University Press, Cambridge, 1963 (русский перевод: Уиппл Ф., Земля, Луна и планеты, изд-во «Наука», М., 1968).
- Мороз В. И., Физика планет, изд-во «Наука», М., 1967.
- Мартынов Д. Я. Планеты. Решенные и нерешенные проблемы, изд-во «Наука», М., 1970.

ДЕЛО О ПРОПАВШЕЙ ПЛАНЕТЕ

Советский астроном С. В. Орлов подсчитал, что в межпланетном пространстве носится больше *четверти миллиарда* обломков поперечником не менее километра. Подавляющее большинство этих обломков движется по орбитам вокруг Солнца в колоссальной промежутке в 550 млн. километров между Марсом и Юпитером. Это «пояс астероидов». Блуждающие фрагменты этого пояса проникают во все области солнечной системы и несомненно иногда сталкиваются с планетами. Астероид Гермес, например, в январе 1938 г. пронесся на расстоянии всего 800 000 км от Земли, т. е. лишь вдвое дальше Луны. Столкнувшись с Землей, обломок поперечником в несколько километров, движущийся со скоростью в несколько десятков тысяч километров в час, по-видимому, разобьет твердую земную кору, как яичную скорлупу. Вероятность этого не очень велика, но забывать о разрушительной способности астероидов нельзя. К счастью, имеются и положительные аспекты.

Каждый из четверти миллиарда астероидов может дать ключ к решению проблемы происхождения солнечной системы. Если бы мы могли поймать астероид и произвести его химический и геологический анализ, это значительно увеличило бы наши знания о том, что произошло во время катаклизма, приведшего к образованию пояса астероидов. В некотором смысле астероиды — посланцы из замарсианского пространства. Только изучая орбиты астероидов, мы можем очень многое узнать о событиях в солнечной системе за последние несколько миллиардов лет. Некоторые энтузиасты предлагали даже подойти к астероиду на ракете, сбросить на него приборы или, более того, высадить группу людей, и пусть этот астероид подобно естественному космическому кораблю несет свой груз через всю солнечную систему.

С точки зрения физических теорий и моделей открытие астероидов представляет собой захватывающий рассказ об ученых, использующих для планирования экспериментов закон, не

имеющий абсолютно никакого физического обоснования. А может быть, все-таки в знаменитом (или пресловутом) законе Бодде что-то есть?

Иногда природа предстает перед нами в искаженном виде, и наша интуиция и здравый смысл подсказывают нам, что либо у Великого Архитектора дрожала рука, либо мы видим не все то, что можно увидеть. Огромный неестественный разрыв в расстояниях между Марсом и Юпитером беспокоил многих астрономов прошлого. Здесь *должна* была быть планета, а найти ничего не могли. Великий Иоганн Кеплер, который был не только астрономом и математиком, но и мистиком и признанным астрологом, также «чувствовал», что между Марсом и Юпитером вокруг Солнца должно обращаться какое-то невидимое тело. В планетной системе существовала «дыра», которую он пытался «объяснить» с помощью различных геометрических фигур, помещенных одна в другую. Интуиция обрела математическую форму в 1772 г., когда профессор математики и физики Виттенбергского университета Иоганн Тициус опубликовал эмпирический закон, позволявший найти расстояния не только всех известных планет, но и некоторых, еще не найденных. По существу Тициус составил ряд чисел, которые совпадали (предположительно) с расстояниями планет. Вот предложенное им уравнение:

$$a = 0,4 + 0,3 \cdot 2^n,$$

где a — среднее расстояние планеты от Солнца в астрономических единицах (а. е.), т. е. единицах, равных расстоянию Земли от Солнца, 150 млн. км; n — величина, равная $-\infty$ для Меркурия, 0 для Венеры, 1 для Земли, 2 для Марса и возрастающая на единицу для каждой последующей планеты. Уравнение Тициуса давало расстояния известных планет с замечательной точностью, настолько высокой, что оно казалось выражением какого-то неизвестного математического закона. В приводимой ниже таблице сравниваются вычисленные и измерительные радиусы планетных орбит (см. стр. 175).

Такой поразительный успех эмпирического закона привел к различным догадкам о неизвестных данных. Если бы математическая зависимость Тициуса покоилась на физическом основании, например на законе, по которому вокруг звезды образуется планетная система, то знаки вопроса заменяли бы

Планета	n	Расстояния планет от Солнца в а. е.	
		уравнение Тициуса	измеренные
Меркурий	$-\infty$	0,4	0,39
Венера	0	0,7	0,72
Земля	1	1,0	1,00
Марс	2	1,6	1,52
?	3	2,8	?
Юпитер	4	5,2	5,20
Сатурн	5	10,0	9,55
?	6	19,6	?
?	7	38,8	?
?	8	77,2	?

реально существующие, но еще не обнаруженные планеты. Поскольку закон Тициуса ничего не говорит о размерах планет, то они могли быть настолько маленькими, что их было бы очень трудно заметить. В то же время если уравнение было просто удачным трюком, случайным отражением действительности с помощью случайного ряда чисел, то за знаками вопроса вообще бы ничего не скрывалось.

Опубликовал правило Тициуса редактор ежегодника «*Astronomisches Jahrbuch*» Иоганн Боде. Хотя впоследствии Боде стал директором Берлинской обсерватории и автором огромного звездного каталога, помнят его в основном за популяризацию этого единственного уравнения. Уравнение Тициуса стало законом Боде — Тициуса или еще более часто законом Боде. В свете последующих событий Тициус, вероятно, был бы счастлив узнать, что его имя исключили из названия закона.

Для оценки правильности физического закона самое важное значение имеет его способность предсказывать. Какое-то время казалось, что закон Боде (как мы его теперь будем называть) действительно имеет под собой некую физическую основу. В 1781 г. немецко-английский астроном Вильям Гершель открыл планету Уран на расстоянии 19,2 а. е. от Солнца, т. е. как раз там, где она должна была находиться по закону Боде. В те времена это было такое же важное открытие, как в наши дни

подтверждение общей теории относительности Эйнштейна. Наконец появился действующий закон (физическая основа которого, правда, была неизвестна), и началась гонка в поисках новых планет. Охота за планетами превратилась в основное занятие астрономов XIX в.

Существование пробела в расположении планет между Марсом и Юпитером подтверждалось теперь «доказанным» уравнением. Интуицию и мистицизм заменили логика или по крайней мере стройные рассуждения.

Уже к 1800 г. многие астрономы обшаривали своими телескопами область эклиптики, большого круга небесной сферы, в поисках «спрятавшейся» планеты на расстоянии 2,8 а. е. от Солнца. Одним из таких «искателей» был барон фон Цах, придворный астроном герцога Эрнста Саксен-Готского. Открытие Урана убедило фон Цаха в правильности закона Боде, и в соответствии с этим он построил свою работу. Однако он быстро понял, что астроном-одиночка не в состоянии обеспечить тщательные поиски. Для решения этой проблемы фон Цах осенью 1800 г. собрал в г. Лилиентале группу из шести своих коллег и предложил им объединить усилия 24 астрономов для составления точных карт такого же числа участников пояса Зодиака. Во время составления этих карт каждый наблюдатель будет во все глаза искать пропавшую планету. Предложение фон Цаха было разумным, особенно потому, что весь астрономический мир был заинтересован пробелом между Марсом и Юпитером, а также законом Боде. Описания намеченного проекта были направлены другим астрономам.

Одно из писем было послано отцу Джузеппе Пиацци в Палермо, но еще до того, как он его получил, Пиацци осуществил главную цель этого проекта. Сравнивая 1 января 1801 г. звездное небо с каталогом, Пиацци обратил внимание на слабую звездочку в Тельце, в каталог не занесенную. К следующей ночи звезда заметно сместилась. То же повторилось и на другие сутки. Новый объект не мог быть звездой, и Пиацци предположил, что это бесхвостая комета. О своей находке он объявил в письмах к итальянскому астроному Ориани и к Боде в Берлин. Как только фон Цах и его комитет, называвшие себя «небесной полицией», узнали об открытии Пиацци, они поняли, что в их честолюбивом предприятии никакой необходимости больше нет. Пиацци предоставил в их распоряжение достаточно

данных, чтобы убедиться в том, что орбита нового объекта безусловно не является орбитой кометы, а представляет собой окружность радиусом 2,8 а. е., т. е. именно такую, на какой согласно закону Бодe должна была находиться новая планета.

К сожалению, Пиацци заболел, не успев собрать достаточно данных для вычисления точной орбиты. К тому времени, когда он поправился, его открытие — «объект Пиацци» — исчезло с ночного неба. Временная потеря объекта Пиацци обернулась значительным приобретением для математики. О находке Пиацци прочел в астрономическом журнале, редактируемом фон Цахом, 24-летний немецкий математик Иоганн Карл Фридрих Гаусс. Гаусс полагал, что при наличии подходящего математического аппарата можно будет вычислить надежную орбиту и с помощью *имеющихся* данных. Гаусс специализировался на создании новых математических методов, и он быстро предложил для вычисления орбит знаменитый «метод наименьших квадратов». С помощью эфемерид, опубликованных Гауссом в астрономическом альманахе, Генрих Ольберс смог снова обнаружить объект Пиацци день в день через год после его первоначального открытия.

Ольберс продолжал следить за объектом Пиацци для того, чтобы сообщить Гауссу дополнительные сведения об орбите. По соседству с объектом Пиацци 28 марта 1802 г. он заметил второй слабый планетообразный объект. Это также оказался обитатель пробела между Марсом и Юпитером, в свою очередь подкрепивший закон Бодe. Так были обнаружены первые два из четверти миллиарда обломков, о существовании которых говорил С. В. Орлов.

Возникла терминологическая проблема. Легко было дать названия объектам, открытым Пиацци и Ольберсом, — *Церера* и *Паллада*, но что это были за астрономические объекты? Конечно, не полноправные планеты. Гершель рискнул предложить название «астероид», потому что подобно звездам они казались светящимися точками. Пиацци хотел назвать их «планетоидами» или «кометоидами», так как их движение по небесной сфере походило на движение планет или комет. Теперь, когда мы лучше узнали существо проблемы, более подходящим названием представляется «планетоид», но в литературе до сих пор значительно чаще используют термин «астероид».

Поскольку казалось очевидным, что новые планетоиды меньше любой «классической» планеты, все начали высказывать догадки об их происхождении. Так, две основные современные планетоидные гипотезы были выдвинуты сразу же после открытия Цереры и Паллады. В 1802 г. в письме к Боду Ольберс предположил, что Церера и Паллада представляют собой обломки взрыва крупной планеты. Другие ученые думали, что первоначальное вещество, из которого образовались планеты, рассеянное по солнечной системе в процессе ее возникновения, не сконцентрировалось в планету в пробеле между Марсом и Юпитером.

К 1816 г. в списке планетоидов прибавились Веста и Юнона. Существовали ли другие такие объекты? Ольберс полагал, что нет, хотя мелкие осколки первоначального взрыва могут носиться где-то в пространстве, невидимые обитателям Земли. Свои поиски Ольберс и другие астрономы прекратили. И лишь в 1845 г. немецкий почтовый чиновник Карл Хенке, увлекавшийся астрономией, обнаружил пятый планетоид — Астрею. Два года спустя он заметил еще один — Гебу. Однако открытие планетоидов было делом трудоемким и кропотливым и продвигалось медленно. К концу 1850 г. было обнаружено всего 13 планетоидов. Все больше и больше астрономов включалось в поиски планетоидов, скорее ради славы, связанной с открытием, поскольку простое расширение списка этих объектов имело малую ценность для астрономии. Список удлинялся по мере того, как возрастало число лучших телескопов, «просеивавших» звезды в области пояса астероидов в поисках светящихся точек, быстро перемещавшихся на фоне неподвижных звезд. К 1890 г. было зарегистрировано свыше 300 планетоидов.

Следить за этим парадом слабеньких объектов было очень трудоемким занятием. Вычисление эфемерид само по себе было каторжным трудом, а, собственно, что доказывали все эти колонки чисел? Пытаясь взять под контроль *нашествие малых планет*, немцы создали первый вычислительный центр для подготовки данных о планетоидах.

Потоп продолжался. Пользуясь только телескопом, Иоганн Пализа из Вены открыл 53 новых планетоида. Но его рекорд побил гейдельбергский профессор Макс Вольф, который для обнаружения планетоидов на звездном фоне исключительно успешно применил новый фотографический метод, усовершен-

ствованный им в 1891 г. Вольф открыл 228 планетоидов. Его метод был прост: он помещал фотографическую пластинку в фокальной плоскости телескопа и поворачивал инструмент со скоростью суточного вращения небосвода. Этот метод после некоторой экспозиции давал на пластинке точечные изображения звезд, а планетоиды, большие планеты и кометы имели вид штрихов.

Успех превзошел все ожидания. К 1890 г. имена, заимствованные из мифов, были исчерпаны, и их заменили номера и хронологический код. Удивляешься, почему потребовалось столько времени, чтобы обнаружить этих небесных «паразитов», которые сейчас стали сущим бедствием для астрономических исследований. Чтобы проиллюстрировать, какого рода проблемы создают планетоиды для крупных телескопов, рассмотрим поиски спутников Юпитера, предпринятые Сетом Никольсоном. Вблизи Юпитера Никольсон обнаружил следы 32 новых объектов, которые могли быть как планетоидами, так и спутниками Юпитера. Потребовалось затратить много времени и провести вычисления, чтобы отбросить все планетоиды.

Несмотря на тщательную регистрацию и вычисление орбит, планетоиды иногда «терялись». Ведь это были очень слабые объекты, которые обращались по вытянутым орбитам, и притяжение больших планет сбивало их с курса. Один из открывателей планетоидов Дж. Уотсон решил предусмотреть все случайности, которые могли бы привести к потере его персонального астероида Андромахи. Он оставил некоторые денежные средства для непрерывного слежения за Андромахой. Однако средства эти не помогли, и Андромаха была потеряна между 1877 и 1893 гг.

Но достаточно анекдотов о планетоидном нашествии — этих тел миллионы; настало время описать характеризующие их закономерности и отличия в свете современной астрономии и попытаться установить их происхождение. Говоря современным языком — какова общая картина?

Если точно знать, куда смотреть, то Весту можно увидеть невооруженным глазом. Все другие планетоиды — объекты телескопические. Сначала была открыта «большая четверка»: Церера, Паллада, Юнона и Веста. Их диаметры составляют соответственно 770, 490, 190 и 400 км. Астрономы полагают, что существует 12 планетоидов с диаметрами от 150 до 200 км и,

вероятно, около 200 с диаметрами от 75 до 150 км. За исключением большой четверки, их диаметры находятся не по угловым поперечникам, а по измеренному блеску и расстоянию. Конечно, должна учитываться также отражательная способность планетовидов (альbedo), которая обычно принимается примерно равной альbedo лунной поверхности. Все планетовиды вместе взятые не составляют и одной тысячной массы Земли. Объект, породивший астероиды, если он существовал, вряд ли был планетой до своего распада. По-настоящему никто не знает, сколько существует мелких планетовидов. За исключением тех мелких объектов, которые проходят в опасной близости от Земли, остальные остаются невидимыми. Их может быть четверть миллиарда, как считает Орлов, или лишь четверть миллиона. Если Орлов прав, то все скопище планетовидов представляет собой обломки планеты величиной с Землю.

Если рассматривать планетовиды в телескоп, то кажется, что многие из них мигают. Обычно это объясняют тем, что многокилометровые обломки имеют неправильную форму и, медленно вращаясь в пространстве, поворачиваются к наблюдателю то одной, то другой стороной. Различное количество отражаемого этими сторонами солнечного света и вызывает мигание. Это явление очень типично для мелких планетовидов; поэтому считают, что большинство из них имеют форму вытянутых чурок или просто грубых бесформенных обломков, как и следует ожидать от осколков, возникших в результате столкновения или взрыва. В то же время большая четверка планетовидов имеет, по-видимому, довольно правильную сферическую форму, что указывает на иное их происхождение.

Научные фантасты обычно описывают планетовиды как неровные, усеянные ямами объекты, похожие на Луну. Их героям приходится в космических скафандрах (из-за отсутствия воздуха) карабкаться по скалистой пыльной поверхности и быть очень осторожными, чтобы после резкого прыжка навсегда не сорваться в пространство. Сила притяжения на мелких планетоидах так ничтожно мала, что один энергичный шаг легко может придать космонавту скорость убегания*. Все данные го-

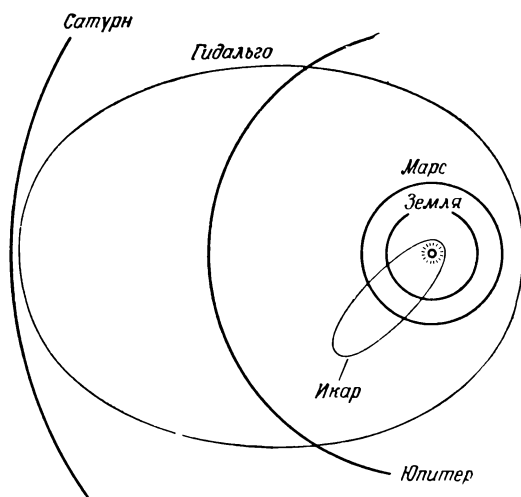
* Скорость убегания в нашей литературе часто называется второй космической скоростью. Это та скорость, при которой преодолевается притяжение небесного тела. — *Прим. ред.*

ворят в пользу именно такого представления о планетоидах. Во всяком случае, астероиды кажутся идеальным местом для размещения космических исследовательских станций благодаря своему малому притяжению: на них легко садиться, с них легко взлететь и требуется мало топлива для преодоления сил гравитации.

Если планетоиды действительно возникли в результате какого-то небесного катаклизма, то их орбиты должны отражать силу первоначального взрыва или столкновения. Средний диаметр всех планетоидных орбит составляет примерно 2,9 а. е., что очень близко к 2,8 а. е., вытекающим из закона Боде. Подавляющее большинство астероидов обращается вокруг Солнца в гигантском пробеле между Марсом и Юпитером. Нас здесь интересует лишь незначительная часть планетоидов, которые распространились по всей солнечной системе не только в плоскости эклиптики, где проходят пути всех планет, но движутся также под разными углами к ней вплоть до 45° . Планетоиды Гидальго и Икар иллюстрируют эти крайности. Гидальго почти касается орбиты Сатурна в афелии (самой далекой от Солнца точке); Икар пересекает орбиты Марса, Земли, Венеры, Меркурия и приближается к Солнцу на расстояние в 0,2 а. е. И у Гидальго и у Икара орбиты частично проходят в пробеле между Марсом и Юпитером; следовательно, оба они могут быть осколками, возникшими в результате одного и того же взрыва.

Орбиты этих миниатюрных луноподобных планет обладают несколькими другими особенностями, радующими сердце тех, кто любит играть в бильярд в межпланетных масштабах. Чудовищная планета Юпитер «взбалтывает» своим притяжением пояс астероидов подобно тому, как она влияет на само Солнце (см. гл. 6).

Планетоид (588), называемый также Ахиллесом, — первый планетоид с мужским именем, открытый 22 февраля 1906 г. Максом Вольфом, — является уникальной иллюстрацией того, как Юпитер своим притяжением может «захватить» планетоид. Первые данные об орбите Ахиллеса свидетельствовали о том, что он двигался со скоростью около 13 км/сек по почти круговой орбите. Это казалось сомнительным, так как Юпитер обращается вокруг Солнца с такой же скоростью, а по ньютоновскому представлению о солнечной системе все объекты, движущиеся



Р и с. 30. Планетоиды Гидальго и Икар иллюстрируют большое разнообразие наблюдаемых орбит. Икар подходит так близко к Солнцу, что его поверхность раскаляется докрасна.

с одинаковой скоростью по круговым орбитам, находятся на одном и том же расстоянии от Солнца независимо от их масс. Таким образом, Ахиллес, вероятно, находился на той же орбите, что и Юпитер. Слово *вероятно* необходимо потому, что плоскость орбиты планетоида могла быть наклонена к плоскости орбиты Юпитера. Профессор Лундской обсерватории К. Шарлье быстро установил, что Ахиллес действительно находится на орбите Юпитера, но движется вокруг Солнца впереди него на $55\frac{1}{2}^\circ$. Для тех, кто изучал труды итало-французского математика Ж. Лагранжа, стало сразу же ясно, что Ахиллес движется вокруг Солнца в гравитационной ловушке, созданной взаимодействием полей Солнца и Юпитера. Лагранж показал, что одно особенно простое решение известной «задачи трех тел» получается в том случае, когда Солнце, большая планета (например, Юпитер) и объект с незначительной массой (Ахиллес) расположены в вершинах равностороннего треугольника. Гравитационное притяжение Солнца и Юпитера и центробежная сила уравнивают друг друга в этих двух точках либрации (ко-

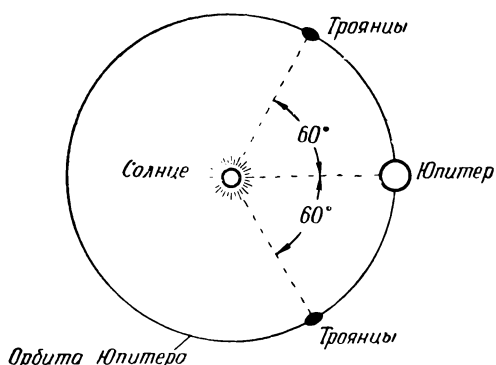


Рис. 31. Троянские группы планетовидов предшествуют и следуют за Юпитером в его движении вокруг Солнца. Лагранж показал, что сочетание сил притяжения и центробежных сил создает «ловушки», которые захватывают планетовиды и не выпускают их до тех пор, пока Сатурн или какая-нибудь другая возмущающая сила не вырвет их.

лебательного равновесия), создавая для Ахиллеса тихую и спокойную гавань. На самом деле возможны *два* равнобедренных треугольника. Лагранж установил также существование в системе Юпитер — Солнце еще нескольких устойчивых точек, которые нас интересовать не будут.

Последующие поиски в области точек либрации впереди или позади Юпитера выявили пять планетовидов в гравитационном мешке впереди Юпитера и десять — позади. Более или менее случайно планетовиды в точках либрации начали называть по именам героев Троянской войны. Мифологическая номенклатура, и прежде столь дорогая сердцам астрономов, закрепились, и все астероиды в точках либрации стали *троянскими* астероидами. Многие астрономы подозревают, что Сатурн своим гравитационным полем может, подойдя близко, похитить одного из троянцев. Состав действующих лиц может и измениться, когда в гравитационную ловушку попадут новые астероиды.

В этой книге неоднократно упоминалось о том, что астрономы составляли списки звезд, солнечных пятен, галактик и других объектов, пытаясь обнаружить какой-то порядок в природе. Естественно, что некоторые из них начали составлять списки планетовидов в соответствии с тем или иным их свойством.

Пожалуй, единственными, легко поддающимися измерениям свойствами планетоидов являются свойства, связанные с их орбитами. Когда американский астроном Даниель Кирквуд в 1866 г. расположил планетоиды по их периодам обращения, он обнаружил удивительные пробелы, соответствующие периодам в 4,0; 4,8 и 5,9 года. Каким-то образом из пояса астероидов на чисто исчезли объекты с этими периодами. Причину найти оказалось нетрудно: это снова был Юпитер. Так называемые *щели Кирквуда* встречаются в местах, соответствующих $1/3$, $2/5$ и $1/2$ периода обращения Юпитера. Несложные вычисления показали, что именно эти орбиты «резонансные», т. е. планетоиды с такими периодами, догоняя Юпитер в своем движении вокруг Солнца, каждый раз получают гравитационный рывок. Эти рывки происходят с правильными интервалами, в точности так же как при раскачивании качелей, и в конце концов планетоиды такого рода были выбиты из своих «резонансных орбит». Как это ни странно, темные щели Кирквуда существуют также между яркими кольцами Сатурна, где обломки выбрасываются под действием больших близко расположенных спутников Сатурна.

Обычно периодические силы стремятся создать где-то нагромождение каких-либо объектов, а рядом с этим местом — удалить объекты (примером может служить песчаная зыбь), и, безусловно, под действием Юпитера многие планетоиды образовали группы с периодами, составляющими дробную часть периода Юпитера. Одна из таких групп и есть троянская группа с периодом, точно равным периоду Юпитера.

Где образовались планетоиды? Несмотря на то что иногда Юпитер баламутит планетоидное население между Марсом и Юпитером, астрономы надеялись, что они смогут отнести уравнения движения планетоидов в прошлое и восстановить историю пояса астероидов. Если учесть все гравитационные влияния («возмущения»), то все планетоидные орбиты можно проследить до момента возникновения планетоидов, возможно до предполагаемого распада планеты. Американский астроном Саймон Ньюкомб, человек с очаровательными предрассудками, предложил в 1860 г. такой анализ, но ему не хватило времени осуществить свою идею. Тем не менее у него оказалось достаточно времени, чтобы написать много популярных книг по астрономии и весьма убедительно доказать, что летательные ап-

параты тяжелее воздуха никогда никакого значения иметь не будут.

Идею Ньюкомба подхватил директор Токийской обсерватории Киотсугу Хираяма. Однако большинство астрономов ленились проводить обширные вычисления и сомневались в возможности математически «проследить» историю планетоидов до места (мест) их происхождения. За несколько миллиардов лет многое могло повлиять на их орбиты, особенно если учесть тяжелую руку Юпитера, бродящего в окрестностях пояса астероидов. Поэтому все были удивлены, когда Хираяма обнаружил пять «семейств» планетоидов, которые, казалось, возникли в результате пяти различных взрывов, а не в процессе одного катаклизма, предположенного Ольберсом. Семейство Флоры, например, включающее 57 членов, обращается вокруг Солнца на расстоянии 2,2 а. е. Другие семейства имели меньше членов, но также тесно взаимосвязанных. Гипотеза взрыва попала в еще более трудное положение после того, как другие астрономы последовали примеру Хираямы и обнаружили 29 точек взрыва.

Что могло вызвать 29 отдельных (и очень маленьких) планетоидов? Возможно, подобно астероидам типа Троянцев, эти семейства Хираямы являются продуктом «брака», а не обычного распада, т. е. они могли образоваться в течение тысячелетий в результате слипания под действием гравитационных сил.

Прежде чем углубляться в проблему происхождения планетоидов, рассмотрим их распределение, или «заразность» планетоидной чумы. Планетоиды находятся в солнечной системе повсюду, по крайней мере до орбиты Сатурна. Возможно, за орбитой Сатурна существует один или несколько астероидных поясов, которые мы не в состоянии обнаружить на таком расстоянии из-за малых размеров типичных планетоидов. Возникает вопрос: сколько планет заражено в настоящее время чужеродными планетоидами? Болезнь принимает две формы: 1) прямое столкновение с планетой и 2) гравитационный захват в виде спутников. Земля, ее Луна и Марс, безусловно, покрыты оспинами кратеров, которые могут быть проявлением первой формы планетоидной чумы. Никто бы не удивился, если бы оказалось, что Венера и Меркурий страдают тем же. У более крупных планет может не оказаться твердой поверхности, которая бы зафиксировала для нас эти явления. Теория солнечной

системы находится в такой зачаточной стадии развития, что в наши дни никто не может отличить малые *естественные* спутники от малых *захваченных* спутников. Большинство астрономов считают, что наша Луна и самые крупные луны больших планет — естественные. Но мелкие луны Марса, Юпитера и Сатурна вполне могут быть захваченными планетоидами. Уверенно ничего сказать нельзя. Некоторые из этих мелких спутников движутся с большими наклонами к экваториальной плоскости планеты и очень напоминают выходцев из пояса астероидов. Даже Плутон, бороздящий окраины солнечной системы, может оказаться отбившимся планетоидом или же луной, «потерянной» Ураном. В наши дни совершенно очевидно, что астрономы не могут гарантировать родословную многих мелких обломков, блуждающих по солнечной системе или временно представших к какой-нибудь планете.

Предложенной Ольберсом гипотезе разрыва планеты исторический анализ Хираямы и других нанес ряд жестоких ударов. Если бы существовала единая огромная семья тесно связанных астероидов, то титанический взрыв явился бы логическим объяснением образования пояса астероидов. Десятки отдельных взрывов настолько подорвали веру в гипотезу Ольберса, что большинством ученых она была безапелляционно отвергнута. Но идея продолжает существовать, несмотря на то, что она не подкрепляется вычислениями. Ее из ряда вон выходящая жизнеспособность вытекает из чрезвычайной ограниченности разумного выбора. Кроме того, широко разбросанные орбиты планетоидов кажутся возникшими в результате взрыва, и интуиция иногда берет верх над вычислениями.

Единственной другой гипотезой, близко подошедшей к объяснению образования пояса астероидов, была дискредитированная ранее небулярная гипотеза Пьера Лапласа и Иммануила Канта. Согласно этой теории, столь популярной в период, когда открытия новых планетоидов еще не испортили аппетит астрономам, считалось, что планеты сконденсировались из колец вещества, оставшегося в экваториальной плоскости Солнца после его сжатия. Пояс астероидов образовался из вещества, не сконденсировавшегося в планету, возможно, из-за гравитационного влияния находящегося рядом Юпитера. Современные варианты небулярной гипотезы, разработанные Карлом Вейцзеккером

и Дж. Койпером, учитывают многие первоначальные возражения против примитивных форм теории, и небулярная гипотеза снова завоевывает поддержку*.

Конечно, не исключено, что ряд планетоидов, имеющих размеры большой четверки, первоначально образовался в промежутке между Марсом и Юпитером в соответствии с некоторыми вариантами небулярной гипотезы, а затем распался при столкновениях или под действием гравитационных сил. В настоящее время в поясе астероидов наблюдается в основном размельчение в результате столкновений. Пояс астероидов занимает промежуточную зону между планетами земной группы и планетами-гигантами, коренным образом от них отличающимися. Возможно, процесс образования планет на мгновение приостановился, и в момент этой нерешительности осталось несколько миллионов фрагментов, которые не объединились.

Известно, что небулярная гипотеза временами то получала признание, то отвергалась; точно так же колебались астрономы и в отношении эмпирического закона, предложенного Тициусом и популяризированного Боде. Не подлежит сомнению, что большинство астрономов современности считают его лишь историческим курьезом, украшающим страницы учебников. Закон Боде лишился всякого уважения науки после того, как он не смог правильно предсказать орбиты Нептуна и Плутона. Когда в таблице, приведенной в начале этой главы, были заполнены две последние строчки, ошибочность предсказаний стала совершенно очевидной:

Планета	n	Расстояние от Солнца, а. е.	
		по закону Боде	измеренное
Нептун	7	38,8	30,1
Плутон	8	77,2	39,5

* Сейчас гипотез происхождения солнечной системы, в том числе и астероидов, много. Одна из них, лучше других известная в нашей литературе, была предложена О. Ю. Шмидтом. Согласно этой гипотезе, планетные тела образовались при слипании мелких частиц межпланет-

Безусловно, в эпоху ранней юности астрономии закон Бode сыграл свою положительную роль, и, возможно, стоит поискать причину, давшую ошибочные результаты на краю солнечной системы, если такая причина существует. Ученые редко беспокоятся по поводу того, что какой-либо физический закон нарушается в предельных ситуациях, но закон Бode — не обычный физический закон; поскольку он не имеет известной физической основы, он кажется чисто случайным.

На ум приходят три возможных способа спасти закон Бode: 1) Предположить, что орбиты внешних планет сильно изменились за время существования солнечной системы и что закон Бode может точно описывать только ту часть этой системы, первичное (?) состояние которой не было нарушено, т. е. от Меркурия до Урана. 2) За Ураном под планеты могут маскироваться инородные тела. В частности, может оказаться, что Плутон — луна, потерянная Нептуном, или какой-то переместившийся планетовид. 3) За Ураном могут существовать еще не открытые пояса астероидов. Наконец, закон Бode правильно предсказал орбиту Плутона при $n = 7$; тем самым дается понять (склоняющимся к такому объяснению), что Нептун не является одной из первоначальных планет.

Такие спекулятивные рассуждения довольно любопытны, но никакие догадки не удовлетворят тех, кто требует, чтобы закон Бode вытекал из первичных физических принципов, т. е. законов Ньютона и какой-либо модели, описывающей образование солнечной системы. Независимо от нынешнего пренебрежительного отношения к «эмпирическому» закону Тициуса — Бode не исключено, что какой-либо предприимчивый ученый в один прекрасный день заметит, что его теория солнечной системы ведет прямо к закону Бode.

Конечно, паразиты неба, планетовиды, доставили больше неприятностей, чем они того стоят. Однако у них есть свои защитники. Покойный американский инженер астронавт Дендридж Коул делал все возможное для рекламирования их использования в космических исследованиях. По словам Коула,

ной пыли. На основе этой гипотезы О. Ю. Шмидт дал объяснение и закону Бode (правда, в измененном виде). Некоторые современные гипотезы о происхождении планет используют и электромагнитные силы. — *Прим. ред.*

планетоиды окажутся весьма полезными человечеству при исследовании и, в далеком будущем, колонизации солнечной системы*. Коул и Дональд Кокс написали пророческую книгу под заглавием «Острова в космосе». Упоминание о планетоидах как островах в обширных просторах межпланетного пространства особенно существенно в связи с предложениями Коула и Кокса. Вот что они говорят:

Планетоиды можно использовать как естественные «космические корабли» при путешествиях из одной части солнечной системы в другую. Коул называет их «шагающими камнями».

Человек может колонизировать планетоиды, возможно, выбрав из их недр породу и создав во внутренней полости искусственные условия для своего существования (см. стр. 247).

Планетоиды могут быть прекрасными источниками металла и другого сырья, которые Земля сейчас потребляет с большой скоростью. Коул предложил даже «захватить» планетоид и доставить его на околоземную орбиту с помощью ракетных двигателей.

Короче говоря, Коул считает планетоиды «микрoземлями», которые легче приспособить к человеческим нуждам, чем значительно более крупные и безусловно менее податливые планеты. Взгляды Коула должны разделять и другие, если человечество хочет заглянуть за пределы своих сиюминутных земных проблем. Взгляды заразительны; в начале одной из глав книги «Острова в космосе» приводится цитата из заявления президента Линдона Джонсона, у которого, несомненно, был полон рот земных хлопот, когда он говорил:

«В один прекрасный день мы сможем подвести близко к Земле астероид, содержащий жизненно необходимые металлы на миллиарды долларов, обеспечив нашим предприятиям колоссальный источник минерального сырья».

Вот цель, к которой мы должны стремиться в далеком будущем.

* Горячим сторонником освоения планетных тел солнечной системы был К. Э. Циолковский. В своих сочинениях (вышедших из печати, разумеется, много раньше, чем были сделаны приводимые ниже высказывания) он несколько раз описывал «эфирные острова» в космосе. — *Прим. ред.*

Л И Т Е Р А Т У Р А

Cole D. M., Cox D. W., Islands in Space, Chilton Books, Philadelphia, 1964.

Ley W., Watchers of the Skies, The Viking Press, New York, 1963.

Moore P., The Planets, W. W. Norton & Company, New York, 1962.

Watson F. G., Between the Planets, Harvard University Press, Cambridge, 1956 (русский перевод 1-го изд.: Ватсон Ф., Между планетами, Гостехиздат, 1947).

Зигель Ф. Ю., Малые планеты, изд-во «Наука», М., 1969.

Путилин И. И., Малые планеты, Гостехиздат, М., 1953.

ОГНИ НА ЛУНЕ

Луна — это мертвый мир, где никогда ничего не происходит. Так гласит старинное изречение. В течение трех поколений наши представления застыли в форме, исключавшей появление ярких огней в лунных кратерах, туч дыма и газа и поразительных рубиново-красных пятен, временами вспыхивающих на площади в сотни квадратных километров на «мертвой» сестре нашей планеты. Луна представляется нам такой, какой видна пустыня из окна быстро несущейся машины: широко раскинувшаяся безжизненная поверхность под жгучими лучами Солнца. Но остановите машину и оглядите пустыню без предупреждения — вы увидите сотни видов растений и животных. Нельзя сказать, что такая же жизнь нарушает пресловутое однообразие Луны, хотя полностью исключить возможность существования на Луне жизни мы не можем. Скорее мы не должны позволять поверхностным впечатлениям направлять нашу мысль.

Огни на Луне наблюдаются еще с тех пор, когда первые телескопы собрали солнечные лучи, отраженные от этого шара, напоминающего футбольный мяч и находящегося на расстоянии почти 400 000 км от Земли*. Вильям Гершель привлек к ним внимание в XVIII в.; с тех пор об этих огнях появились десятки сообщений. В течение многих веков лунные огни и светящиеся красные пятна разделяли судьбу солнечных пятен на «идеальном» Солнце: они *не могли* существовать на «мертвой» Луне, и поэтому их игнорировали. Но время и истина сбрасывают разного рода шоры, и ожившая Луна сейчас — «горячий» объект в астрономии. Огни на Луне и другие необычные изменения важны для темы нашей книги по следующим причинам: 1) они возродили старый конфликт между метеорной и вулканической гипотезами происхождения лунных кратеров; 2) некоторые визуальные изменения, по-видимому,

* В номере журнала «Science» от 27 января 1967 г. Барбара Миддлхерст и Патрик Мур сообщили о своем анализе почти 400 переходящих явлений на Луне, которые произошли за последние пять веков.

связаны с циклом солнечной активности, подобно спектральным изменениям на Марсе и Юпитере.

Эту главу писать рискованно. К тому времени, когда книга выйдет в свет, на лунную поверхность опустится еще несколько космических аппаратов «Сервейор» и Луна приобретет свои искусственные спутники. Передаваемые с Луны по радиоданные, пожалуй, позволят нам получить лучшее представление о физических свойствах Луны, чем все прошлые века телескопических наблюдений*.

Панорама, наблюдаемая на лунной поверхности телевизионной камерой или космонавтом, богата мелкими деталями, но не дает общей картины. Кривизна лунной поверхности так велика, что большая часть ландшафта оказывается под горизонтом. Человек, стоящий в центре большого кратера, увидит лишь довольно невыразительную равнину, поскольку стены кратера будут ниже горизонта. Цель этого короткого урока селенографии заключается в том, чтобы показать, что эфемерные и широко разбросанные по Луне «огни» лучше всего обнаруживаются телескопическими патрулями на Земле, но окончательное решение вопроса об их природе будет зависеть от непосредственной работы на месте космонавта-геолога или автомата-геолога. Астрономы на Земле могут направлять людей и механизмы в те места, где такие объекты появляются.

Подобные случайные объекты часто описывались астрономами прошлого. Честь привлечения внимания астрономов к этим довольно редким лунным явлениям обычно приписывается великому немецко-английскому астроному Вильяму Гершелю, шлифовавшему лучшие в то время зеркала для телескопов и завоевавшему репутацию крупного органиста и учителя музыки. В ночь на 18 апреля 1787 г., изучая область вокруг кратера Аристарх, Гершель увидел пятна, светившиеся по-

* Эти строки относятся к 1965—1966 гг. Теперь уже читатель знает, что Луну облетали не только искусственные спутники Луны («Луна-10», «Лунар Орбiter»), на ее поверхности побывали не только автоматические станции («Луна» 9 и 13, «Сервейор»), но и на Луну наконец-то в июле 1969 г. высадились первые космонавты. Теперь мы знаем о Луне много больше, чем знал автор этой книги. Все же интересно сначала прочесть, что знали и думали всего несколько лет тому назад. А в конце главы мы коротко сообщим читателю о некоторых новых данных, интересных именно в связи с тем, о чем рассказывает автор. — *Прим. ред.*

добно «тлеющему углю, слегка присыпанному золой». Сравните это описание с описанием Джона Гринекра, который видел подобное зрелище около Аристарха 30 октября 1963 г. в телескоп Лоуэлловской обсерватории. Гринекру казалось, что он «смотрит в большой отшлифованный рубин, но сквозь него не видит». Эти яркие лунные «вспышки» длятся лишь минуты, самое большее полчаса. Описания Гершеля и Гринекра, столь похожие качественно, несмотря на то, что их разделяет почти два столетия, типичны для двух совершенно разных эр в астрономическом мышлении. Гершель и его коллеги астрономы считали Луну активным, изменяющимся телом, на котором, возможно, существует жизнь. Гершель полагал, что его огни вызываются вулканическими извержениями. Гринекр и большинство современных астрономов не слишком надеются обнаружить на Луне жизнь, но считают, что поверхность Луны полна таких тонкостей, о которых Гершель и не мечтал. Между Гринекром и Гершелем лежит множество десятилетий, в которые господствовало представление о «мертвой Луне».

Красное свечение и вспышки света — не единственные особенности, превращающие Луну в волнующий объект наблюдений. Несколько кратеров, кажется, исчезли с ее поверхности, появились новые, замечены темные «полосы», возникающие и перемещающиеся вокруг некоторых кратеров.

Один из современников Гершеля, Иоганн Шрётер, страстно верил в изменчивость Луны. Как главный судья города Лилиенталя (того самого, где в 1800 г. собрались фон Цах и его планетопдная «небесная полиция»), Шрётер, по-видимому, имел достаточно времени и средств, чтобы позволить себе заниматься своим любимым хобби — астрономией. Шрётер помогал в составлении лунных карт и поддерживал мысль о том, что Луна не является абсолютно пассивным телом. Пользуясь одним из превосходных телескопов Гершеля, он терпеливо, систематично, как истый немец, составил сотни подробных карт различных участков лунной поверхности. Шрётер хотел зафиксировать детали поверхности, а затем, позднее, проверить, не произошло ли каких-нибудь изменений, потому что он верил в изменчивость Луны. Это предприятие напоминает систематические зарисовки солнечных пятен другим немецким любителем астрономии Генрихом Швабе. Лунные карты Шрётера были сделаны не художником, но аккуратно и честно. Все пользовались

его картами, но никто не верил заявлениям Шрётера, что он видит изменения в геологии Луны. Наполеоновская армия положила конец его увлечению, разрушив в 1813 г. до основания его обсерваторию и утащив медные инструменты, принятые за золотые.

Идея Шрётера «рисуи, а затем проверяй» в конце концов дала свои плоды. В 1865 г. немецкий астроном Юлиус Шмидт объявил, что кратер Линней (названный в честь натуралиста Линнея) на плоской равнине Моря Спокойствия практически исчез. На картах, составленных даже в 1843 г., кратер Линней имел вид глубокого, хорошо заметного объекта диаметром 13 км. Шмидт же увидел (как и мы сейчас) лишь небольшое углубление в возвышенности, окруженной беловатым веществом. Что-то произошло, но что именно?

Астрономы любят действие, и многие поддались соблазну проверить сообщение о кратере Линней, а затем начали собственные поиски других изменений. Вскоре оказалось, что один из кратеров у границы Моря Кризисов, использованный Шрётером в числе главных опорных пунктов, бесследно исчез. У некоторых других кратеров были обнаружены явные изменения. Объяснить эти изменения (если они действительно произошли) не мог никто. Удивительно, что догма о неизменной Луне возникла и развивалась на фоне сообщений обо всех этих изменениях.

До того, как ее задушила догма, идея о вулканической деятельности служила логическим объяснением лунной активности. Земные вулканы выбрасывают огонь, тучи, пепел, а раскаленная докрасна лава заливает обширные пространства. Вулканы могут даже взрываться под действием мощных сил, напорающих из горячих земных недр. Нет никаких оснований считать, что Луна не может подвергаться действию тех же самых естественных сил.

Натурфилософ с большой широтой мышления Иммануил Кант выдвинул гипотезу лунных вулканов еще в 1785 г., предвосхитив Гершеля (Кант также предложил знаменитую «небулярную гипотезу» до Лапласа). В течение 90 лет лунная вулканическая деятельность вызывала лишь мимолетный интерес. Возможно, вулканы действительно иногда выбрасывали огонь и лаву, но эта идея никого не волновала — куда важнее было открытие новых планет и планетоидов.

Молчание нарушили два английских любителя — Джеймс Нэсмит и Джеймс Карпентер, которые энергично проповедовали вулканизм в своей книге «Луна, рассматриваемая как планета, мир и спутник», вышедшей в 1874 г. Нэсмит и Карпентер признавали, что лунные кратеры — весьма отдаленные родственники земных вулканов, если судить по их внешнему виду. Большинство земных вулканов относится к типу Везувия, имеющему коническую форму с небольшими чашеобразными углублениями или отверстиями на вершине. Лунные же кратеры — обычно широкие и неглубокие понижения, окруженные низкими кольцевыми ободками-валами. Часто в самом центре области, охваченной круговым (иногда многоугольным) ободком, возвышается горка, которая вносит разнообразие в унылый пейзаж.

Модель лунного вулкана Нэсмита — Карпентера напоминала праздничный огненный фонтан. Они предположили существование отверстия, ведущего к резервуару с магмой (расплавленной породой) в недрах Луны. Через это отверстие выбрасывается вертикальный поток пепла и обломков, который рассеивается во всех направлениях, выпадая на лунную поверхность в виде геометрически точного кольцевого ободка. Как указывает в своей книге «Наблюдения Луны» Патрик Мур, трудно поверить, что массивная и при этом хорошо очерченная круговая стена диаметром свыше сотни километров могла образоваться с помощью такого неприцельного орудия. Истинная заслуга Нэсмита и Карпентера состояла в том, что они выдвинули вполне определенную модель, которую ученые могли либо защищать, либо опровергать, предлагая взамен другие модели. Гипотеза огненного фонтана снова заставила людей думать о проблеме кратеров.

Другую легко опровергаемую теорию кратеров предложил Роберт Гук, раздражительный критик Ньютона. Гук допустил, что на поверхность Луны, когда она еще была в расплавленном состоянии, поднялись огромные пузыри газа. Лопнув, пузыри оставили круговой ободок, точно так же как они оставляют его в каше или грязевых источниках в Йеллоустоне. Но ни один физик не будет серьезно говорить о горячем пузыре диаметром в сотню километров в расплавленной породе — такой пузырь лопнет от давления.

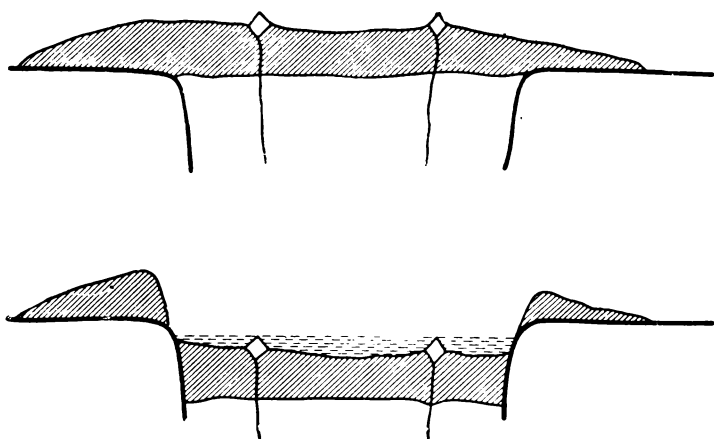


Рис. 32. Земные кальдеры опускания образуются в результате провала вулканов в полости, возникшие при извержении лавы и вулканических обломков. Образовавшийся кратер, который может быть частично наполнен лавой, удивительно похож на типичный лунный кратер.

Из многих современных вариантов гипотез происхождения лунных вулканов наиболее разумный обращается к силам, вызывающим образование земных кальдер. Согласно этой теории, поднимающаяся лава создает конусообразную гору, а затем часть этой горы проваливается обратно в полость, оставшуюся после выброса лавы. Получается почти круговой ободок. Затем лава покрывает обломки центральной части, образуя гладкую поверхность. В более крупных лунных кратерах наблюдаются следующие две особенности земных кальдер: 1) дно кратера находится ниже уровня окружающей поверхности; 2) шестиугольная форма кругового вала, образовавшаяся скорее всего под действием сил давления лавы на поверхностную породу, которая трескалась по правильным линиям разлома на ранних стадиях возникновения кальдер. Кальдеры могли образоваться всюду, где в лунной поверхности имелись слабые места. Поскольку многие лунные кратеры расположены цепочками, то ряды накладывающихся друг на друга кальдер могли бы образовать длинные трещины в лунной коре. Ученые, предпочитающие гипотезу метеоритных ударов, полностью прини-

мают убедительную модель кальдер, заявляя, что кальдеры образуются там, где кора уже треснула и ослаблена в результате прямого попадания тяжелого небесного ядра.

В начале нашего века вулканическая гипотеза была слишком рано вытеснена гипотезой метеоритных ударов. Недавно она вновь возродилась, и мы вернемся к ней в этой главе после того, как будет рассказано об утверждении представлений о Луне как о мертвом теле и об эволюции теории удара.

Представление о Луне как о мертвом теле было диаметрально противоположно взглядам Гершеля и Шрётера, которые бы ничуть не удивились, увидев в телескоп города обитателей Луны. Мысль о мертвой Луне была выдвинута немецким банкиром, любителем астрономии Вильгельмом Беером и его другом Иоганном Медлером. Они вдвоем тщательно изучали Луну в течение почти 10 лет. Беер и Медлер составили детальную карту, которая послужила основой для последующего развития лунной астрономии. За картой в 1838 г. последовала книга под названием «Луна». И карта и книга были шедевром тщательности и точности и быстро стали авторитетным справочником по лунной поверхности. В течение всех 10 лет наблюдений Беер и Медлер не заметили никакой лунной активности и самым решительным образом заявили об этом в книге «Луна». Сила книги как авторитетного источника навязала астрономическому миру и самый слабый сделанный в ней вывод. В течение периода времени, превышавшего жизнь целого поколения, астрономы направляли свои телескопы в другие точки неба, потому что мертвая Луна, для которой были составлены тщательные карты поверхности, не могла принести ни открытий, ни волнений исследований неизведанного, ни славы наблюдателю.

Саймон Ньюкомб популяризовал догму о мертвой Луне в нескольких своих книгах для любителей. Приведем из них лишь одну выдержку: «Луна — это мир без погоды, в котором никогда ничего не происходит». Лунная астрономия так бы вечно и прозябала, если бы в 1865 г. Юлиус Шмидт не обнаружил, что кратер Линней почти полностью стерт с поверхности Луны неизвестной силой. К счастью, Луна «умирала» только для одного поколения. Чем тщательнее астрономы изучают ее сегодня, тем более живой она им кажется.

Еще до того, как Беер и Медлер формально похоронили Луну, другой немецкий астроном Франц фон Груйтхуйзен предложил новую гипотезу, объясняющую происхождение лунных кратеров. В 1828 г. он высказал предположение, что лунная поверхность в ранней своей истории была покрыта оспинами под ударами града метеоритов, обрушивавшихся на нее из внешнего пространства. Груйтхуйзен предложил теорию ударов не первым. Более чем за 100 лет до него все тот же неугомонный Роберт Гук, стремясь добиться быстрого признания, выдвинул идею об «ударном» происхождении кратеров. Он зашел даже так далеко, что бросал пули в жидкую глину, создавая кратеры, весьма напоминающие лунные. Гук на много десятилетий опередил свое время, ибо в его эпоху никто себе не представлял, что с неба могут падать камни, и притом огромные, способные образовывать на Луне наблюдаемые нами колоссальные кратеры. (Кстати, Гук также кипятил в воде гипсовый порошок для проверки своей «пузырьковой» теории возникновения кратеров. Кратеры имели ту же форму, что и образовавшиеся при падении пуль.) Для подкрепления своей точки зрения Груйтхуйзен мог по крайней мере указать на метеориты (теперь признанные наукой). К сожалению, у него также было богатое воображение, которое заставляло его коллег астрономов косо глядеть на теорию удара. Он описывал «лунный город» поперечником почти в 40 километров с «темными гигантскими крепостными стенами». Хотя Груйтхуйзен жил в эпоху, когда жизнь на Луне казалась весьма вероятной, поверить в огромный город было трудно. Наши лучшие современные телескопы показывают на месте города Груйтхуйзена лишь довольно беспорядочные нагромождения невысоких скал, такие же, какие зарисовал Шрётер полтора века назад. Когда Груйтхуйзен предложил гипотезу метеоритных ударов, она не получила должного признания.

Следующим идею удара поддержал английский астроном Ричард Проктор. Хотя впоследствии Проктор и сомневался в гипотезе удара, он был настолько хорошим популяризатором науки, что мог многим навязать свою точку зрения, пока он сам ее придерживался.

Еще один защитник теории удара появился с совершенно неожиданной стороны. Гров Гилберт был главным геологом Национального топографического управления США. Шел 1892

год, известный как «год катастрофы», когда половина личного состава этого управления была уволена. Предполагалось, что Гилберт находится в Вашингтоне, добиваясь в конгрессе ассигнований, которые позволили бы управлению продолжать свою деятельность. На самом деле он находился на Морской обсерватории и наблюдал Луну.

В этот период Гилберт писал своему другу: «Я немного свихнулся на Луне; меня мучает новая идея в отношении ее кратеров, и я болтаюсь в обсерватории уже три вечера, из которых еле набрал один час наблюдений. Почти одинаково мешают облака и конгрессмены». У конгресса тоже было что сказать о Гилберте. Один член конгресса сказал: «Топографическое управление стало настолько бесполезным, что один из самых выдающихся его работников не может найти лучшего применения своему времени, чем сидеть целую ночь и глазеть на Луну». Топографическое управление потеряло часть ассигнований, но наука получила доклад, представленный в 1893 г. Вашингтонскому философскому обществу.

Мысль Гилберта заключалась в том, что Земля окружена кольцом крошечных лун наподобие колец Сатурна. Так как их орбиты меняются под действием возмущений со стороны Луны и Земли, то луны врезаются в поверхность Луны, образуя кратеры. Предположение о таких лунах понадобилось Гилберту для того, чтобы оправдать их *вертикальное* падение на Луну, при котором возникали бы *круглые* кратеры, наблюдаемые в телескоп. Он не знал, что образующиеся при ударе кратеры всегда будут примерно круглыми независимо от угла падения. Если в идее Гилберта луны заменить метеоритами, то она зазвучит вполне разумно. Толчок, приданный теории Гилбертом, позволил ей занять доминирующее место.

Точка зрения Гилберта получила значительное подкрепление, когда знаменитый немецкий геолог Альфред Вегенер провел лабораторные эксперименты по воспроизведению ударов метеоритов о лунную поверхность, бросал размельченную в порошок штукатурку на ровный слой цементного порошка. Слава пришла к Вегенеру благодаря гипотезе «дрейфе континентов». Его репутация плюс точное воспроизведение миниатюрных лунных кратеров во время экспериментов склонили многих астрономов к теории удара. Книга Вегенера «Происхождение лунного кратера» вышла в свет в 1921 г.

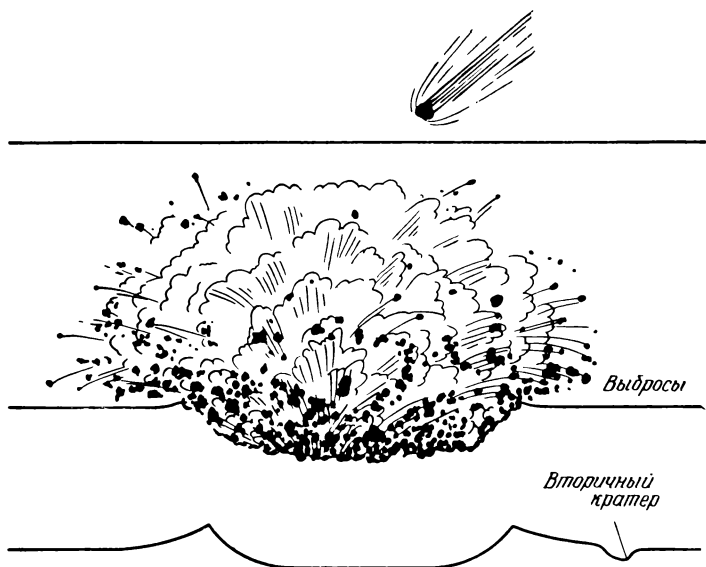


Рис. 33. Столкновение с лунной поверхностью метеорита, летящего с большой скоростью, могло вызвать взрыв, при котором образуется яма диаметром во много раз больше диаметра метеорита. Возникающий при этом кратер, как показывают земные эксперименты подобного рода, очень похож на лунные. Выбросы могут создавать многочисленные вторичные кратеры.

Ничего не могло быть проще теории удара. Случайный метеорит, движущийся со скоростью десяти тысяч километров в час, врзается в твердую поверхность Луны. Кинетическая энергия этого снаряда переходит в тепло и ударные волны. Затем могло бы произойти следующее: 1) лунное вещество окажется просто выброшенным, как при образовании артиллерийской воронки; 2) под действием тепла лунная порода расплавится на обширном участке, а затем застынет, образуя гладкое дно кратера; 3) сила удара ослабляет кору Луны до такой степени, что из недр поднимается лава и частично заполняет кратер.

Другими словами, теория удара обладает достаточной гибкостью, чтобы объяснить многие особенности лунных кратеров. Проведенные в земных условиях эксперименты, имитирующие

удары в меньших масштабах, подтверждают, что при ударах метеоритов могут возникать кратеры таких размеров и формы, которые наблюдаются на Луне.

Сначала некоторые ученые отрицательно относились к выдвигению на первый план теории удара, отмечая, что и Земля благодаря своей близости к Луне должна была бы подвергнуться такой же атаке метеоритов. Но где же на Земле кратеры? Геологи, бывшие убежденными сторонниками теории удара, тут же ответили, что бомбардировка произошла очень давно и эрозия стерла почти все следы кратеров, пришедшихся на долю Земли.

Лишь в 1906 г. астрономический мир узнал, что в пустынях Аризоны существует гигантский кратер ударного происхождения. Большинство ученых отнеслось к этому недоверчиво, но метеоритный кратер поперечником $1\frac{1}{2}$ км — реальный факт, который могут удостоверить пассажиры многих трансконтинентальных самолетов. Индейцы и золотоискатели знали о метеоритном кратере задолго до 1906 г., но почему-то не сообщали об этом астрономам. Гров Гилберт побывал у метеоритного кратера в 1891 г., за два года до своего доклада Вашингтонскому философскому обществу. Хотя факт существования на Земле большого кратера ударного происхождения придавал бы этому докладу гораздо большую убедительность, Гилберт все же подсчитал, что кратер возник в результате «взрыва пара». Находку метеоритного железа вблизи кратера он принял за простое совпадение. Редко бывает, чтобы ярый сторонник гипотезы проглядел такой важный вещественный довод в ее пользу.

За открытием кратера в Аризоне последовало вскоре обнаружение ряда других кратеров ударного происхождения в разных частях земного шара. Некоторые из них хорошо сохранились (их возраст лишь несколько миллионов лет) и явно возникли в результате удара, другие сильно разрушены эрозией и лучше всего видны с воздуха. Теперь никто не сомневается, что *некоторые* лунные кратеры также образовались при падении метеоритов. При этом идет только количественный спор. Сторонники теории удара утверждают, что Земля в достаточной степени усыпана кратерами, чтобы поддержать их точку зрения. Защитники лунного вулканизма не менее убежденно заявляют, что на Земле открыто слишком мало настоящих

кратеров ударного происхождения, чтобы они поверили, будто Земля и Луна подверглись одинаковой бомбардировке, и что поэтому многие лунные кратеры, возможно большинство из них, должны иметь вулканическое происхождение. Тем не менее сам факт существования на Земле кратеров ударного происхождения оказался достаточным, чтобы сомневающиеся астрономы перешли на сторону теории удара.

Доклад Гилберта и книга Вегенера подлили масла в огонь зачастую неистовых дискуссий между сторонниками ударной и вулканической гипотез, которые велись с разной интенсивностью в течение всего нашего столетия. В 1949 г. на огневой позиции было установлено самое мощное орудие сторонников теории удара. Вышла книга американского астронома Ральфа Болдуина «Лик Луны». В книге тщательно, детально и самым убедительным образом рассмотрены доводы в защиту метеоритного удара как причины образования *большинства* лунных кратеров. Поразительно, что книга или статья, даже если она представляет лишь одну точку зрения, может быть так влиятельна. Книга Беера и Медлера «Луна» склонила мысль ученых к представлению о мертвой Луне.

Книга «Лик Луны» была настолько убедительной, что ученые всех специальностей объединились вокруг теории удара. Лауреат Нобелевской премии американец Гарольд Юри в 1956 г. так сформулировал позицию большинства: «...Для науки характерно, что различные объективные исследователи, изучающие одни и те же данные, приходят к одинаковым выводам и что подавляющее большинство этих исследователей в значительной степени согласно друг с другом. Когда это происходит, мы считаем выводы таких ученых истинными. Исходя из этого... я прихожу к выводу, что вулканическая гипотеза ошибочна, а теория столкновений истинна...» Юри был совершенно прав. Большинство ученых в 1956 г. отказались от вулканизма. Но научная истина — вещь относительная, зависящая от единства мнений; меньшинство продолжало протестовать.

Отвлечемся теперь от существовавшего в 1956 г. почти полного единства взглядов и рассмотрим все за и против. Для начала упомянем о двух специфических, но достаточно общих аспектах спора. Довольно забавно, что астрономы в общем придерживаются вулканической теории — теории *геологической*, а геологи исторически встали на позицию метеоритно-ударной

теории — теории *астрономической*. Вторым любопытным моментом является то, что *обе* теории правильны, т. е. кратеры на Луне безусловно возникли в результате действия обоих процессов. Здесь не нужно выбирать между двумя процессами, а лишь определить степень влияния каждого из них.

В пользу теории удара говорят следующие наблюдения:

Земные эксперименты и теория убедительно показывают, что кратеры, *подобные* видимым на Луне, *могли бы* возникнуть при метеоритных ударах.

Такие метеоритные кратеры, но более мелкие, открыты на Земле.

Количество окружающих лунный кратер обломков обычно примерно равно объему углубления (правило Шрётера), и это свидетельствует о том, что извержения лавы не было.

Число наблюдаемых на Луне *мелких* кратеров кажется согласующимся с числом метеоров, влетающих в настоящее время в земную атмосферу, умноженным на возраст Луны, составляющий 4 миллиарда лет.

Лунные кратеры *кажутся* возникшими случайно, по крайней мере в отношении своего местоположения. Заметьте, что сторонники вулканической теории в такой же степени уверены в неслучайном распределении лунных кратеров.

Светлые лучи обломков вокруг многих кратеров можно объяснить выбросом вещества при метеоритных ударах.

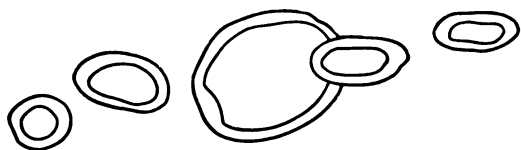
Происхождение многих мелких кратеров, имеющих иногда в поперечнике лишь несколько метров, гораздо легче объяснить прямым ударом метеоритов или обломков, выброшенных из соседнего кратера первоначальным взрывом.

На стенах кратеров обычно отсутствуют следы лавовых потоков, которые должны были бы иметься при сильных вулканических явлениях.

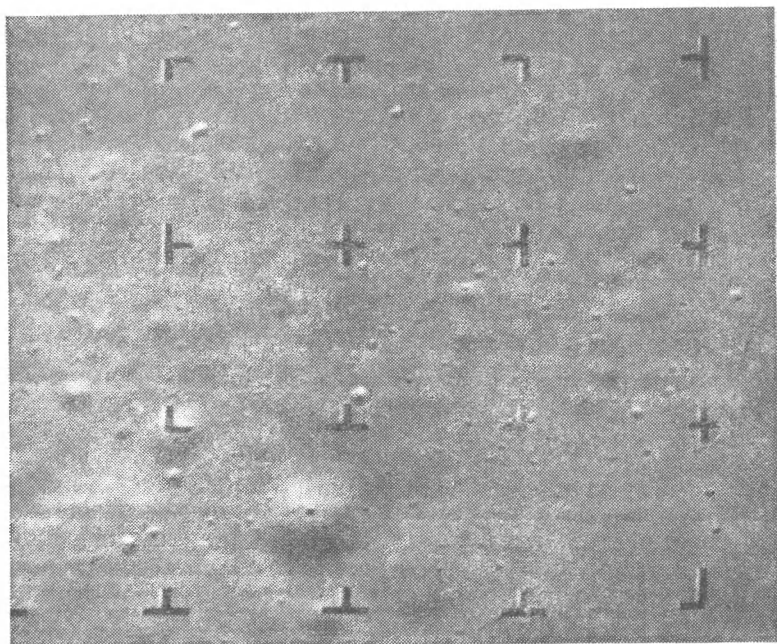
В то же время защитники вулканической гипотезы могут выдвинуть в свою поддержку не менее внушительный перечень доводов.

Свыше 50 лунных кратеров расположены на вершинах гор, похожих на Везувий, весьма напоминающих классические земные вулканы.

Несколько лунных кратеров почти до самого края наполнены веществом, очень сходным с лавой. (Метеоритный удар вполне мог вызвать извержение лавы.)



Р и с. 34. Лунные кратеры часто образуют цепочки. При взаимном наложении двух кратеров малый всегда накладывается на большой. Земные вулканы расположены такими же цепочками.



Р и с. 35. Фотография лунной поверхности, сделанная станцией «Рейнджер» перед самым столкновением. Обратите внимание на большое число кратеров; некоторые из них имеют в диаметре лишь несколько метров.

Если предположить, что на Луне имеются те же радиоактивные элементы, что и в хондритах (каменных метеоритах), то при радиоактивном распаде могло выделяться достаточно тепла, чтобы лунные кратеры возникли в результате вулканической деятельности. Некоторые исследования лунной радиоактивности дают основания полагать, что количество освобождаемого радиоактивного тепла, возможно, увеличивается.

Земные кратеры поразительно напоминают многие лунные кратеры.

Многие лунные кратеры расположены цепочками (а не случайно); беспорядочные метеоритные залпы вряд ли могли создать такое расположение. (Даже многие энтузиасты метеоритной теории признают, что цепочки кратеров имеют, по-видимому, вулканическое происхождение.)

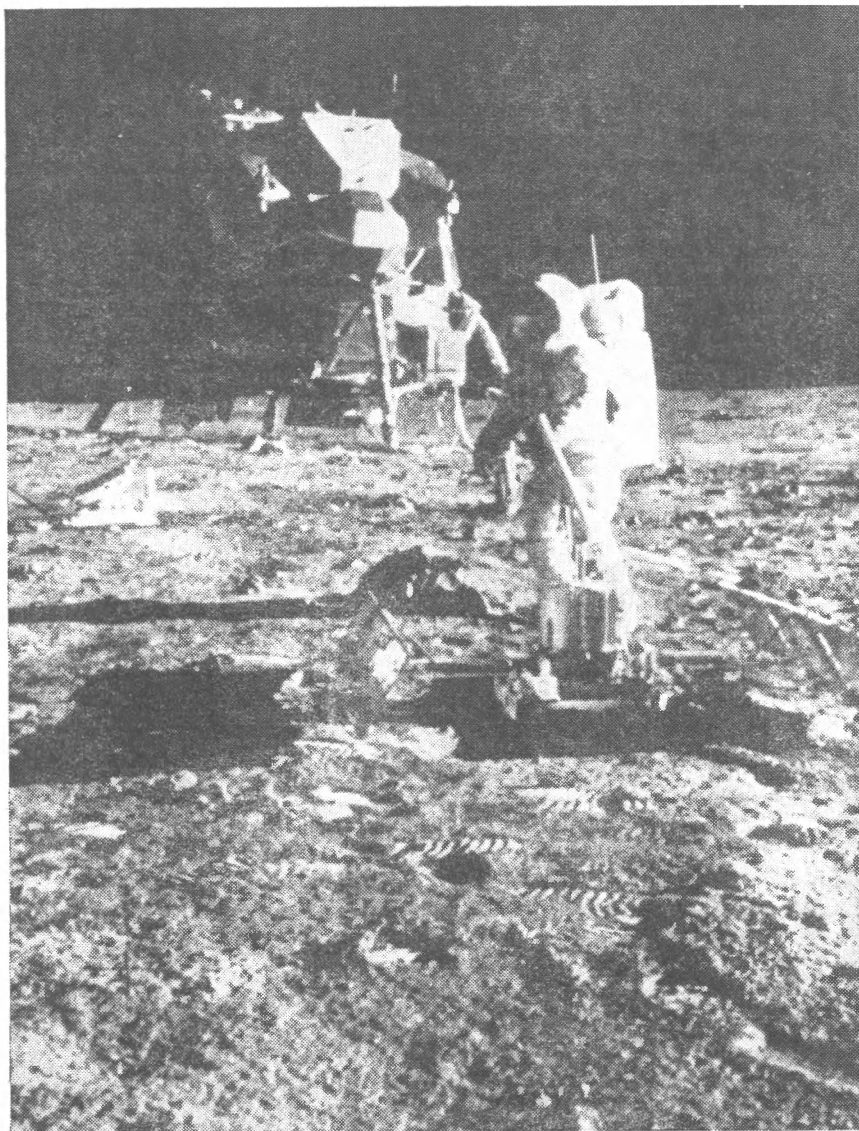
Лунные кратеры расположены совсем не случайно, даже когда нет явно выраженных цепочек кратеров.

Там, где кратеры накладываются друг на друга, почти всегда большой кратер разбит более мелкими. Чтобы объяснить этот факт, сторонникам метеоритной теории приходится сделать весьма маловероятное предположение, что все большие метеориты выпали в начале процесса. У земных вулканов чаще всего сначала происходят мощные извержения.

Многочисленные вспышки света и красные пятна, наблюдавшиеся в течение столетий, *возможно*, указывают на продолжение вулканической деятельности на Луне. (О других объяснениях будет рассказано ниже.)

Некоторые лунные обломки, которые удалось рассмотреть по телевидению с помощью аппарата «Сервейор», имеют закругленные контуры и пористость, типичную для изверженных вулканических пород, хотя не исключено, что они расплавились под действием тепла, выделившегося при ударе метеорита.

Короче говоря, в защиту как метеоритной, так и вулканической теорий можно привести много доводов. С годами по мере накопления новых фактов перевешивала то одна, то другая теория. Несомненно, в образовании лунных кратеров участвовали оба механизма. Лишь с появлением на Луне человека и проведением широких геологических исследований удастся выяснить, какие кратеры и в каком количестве возникли в результате того или другого катаклизма.



Р и с. 36. Первые люди на Луне.

Теперь, когда ученые вновь обращаются к вопросу об изменениях на нашей соседке, их больше не сдерживает догма о мертвой Луне. Дело обстоит как раз наоборот. Многие астрономы уверены, что изменения происходят и происходили всегда; более того, они снова активно занимаются поисками таких изменений, точно так же как это делал 150 лет назад Шрётер, но с несравненно лучшими инструментами. Современные исследования ведутся в следующих направлениях: яркие вспышки света, люминесценция, повышенная поверхностная яркость, облака и затемнения, структурные изменения и горячие тепловые пятна. Почти все эти «современные» (читай: «наконец признанные») явления так или иначе имеют отношение к спору о кратерах. Как будет видно из последующего, современная тенденция в объяснении таких наблюдаемых явлений состоит в привлечении еще третьей силы: стимуляции Солнцем физических и химических процессов.

Яркими вспышками света, которые часто наблюдались еще с тех времен, когда на Луну были направлены первые телескопы, обычно пренебрегают, считая их отражениями солнечного света от участков поверхности или, возможно, результатом удара больших метеоритов. Звездopodobные огоньки часто видели в кратере Аристарх; казалось, что лучше всего они объясняются отражением солнечных лучей от деталей поверхности, которые обнаруживают свое присутствие лишь тогда, когда эти лучи падают на них под определенным углом. Подходящей аналогией могут служить блики от окон домов и машин, наблюдаемые пассажирами самолетов. Типичным примером является наблюдение английского астронома Ф. Торнтона. Изучая кратер Платон 15 апреля 1948 г., он был поражен яркой оранжевой вспышкой примерно в километре от стенки кратера. Вспышка напоминала разрыв зенитного снаряда. Такие вспышки слишком кратковременны, чтобы определенно свидетельствовать о вулканической деятельности; весьма вероятно, что они могут вызываться ударами метеоритов. Естественно, что у любителей научной фантастики имеется другое, более искусственное объяснение: это «сигналы».

Местом следующего проявления лунной активности оказался большой кратер Альфонс поперечником свыше 100 км, знаменитый своими темными пятнами, меняющими форму. Альфонс не впервые упоминается в связи со вспышками света и другими

«необычными» явлениями, но наблюдение Динсмора Олтера 26 октября 1956 г. положило начало современной эпохе бурных исследований Луны. Олтер фотографировал Альфонс с красными и синими фильтрами на Маунт-Вилсоновской обсерватории. Он заметил, что кратер оказался невидимым на некоторых фотографиях, полученных с синим фильтром, хотя окружающие области обрисовывались вполне отчетливо. С красным фильтром кратер был виден. Олтер предположил, что это «затемнение» объясняется присутствием в кратере газа, который поглощает синие лучи. Другие астрономы в прошлом неоднократно замечали подобные затемнения, но только открытие Олтера привело к следующему акту драмы.

Под влиянием Олтера советский астроном Н. А. Козырев начал на Крымской астрофизической обсерватории систематическое исследование внутренней области кратера Альфонс с помощью спектроскопа. В ночь на 3 ноября 1958 г. Козырев получил фотографию спектра красноватого пятна, которое объяснил присутствием флуоресцирующих газов, выбрасываемых из центральной горки кратера. Казалось, что красноватое пятно движется, а через полчаса оно исчезло. В спектре были видны хорошо известные полосы, характерные для молекулы C_2 при температуре до 2000°C . Некоторые пренебрежительно отнеслись ко всей истории с кратером Альфонс, однако подобная активность была снова замечена в Альфонсе 29 октября 1959 г. и в печально известном своей изменчивостью кратере Аристарх в 1961 и 1963 гг. Наблюдения и сделавшие их наблюдатели слишком надежны, чтобы их можно было игнорировать. Открытия Олтера и Козырева вселили энтузиазм в сторонников вулканической гипотезы образования кратеров, которые до этого чувствовали себя совершенно подавленными.

В октябре и ноябре 1963 г. на Лоуэлловской обсерватории было сделано несколько важных наблюдений, сходных с наблюдениями Гринекра. Несколько опытных наблюдателей этой обсерватории видели светящиеся красные пятна вблизи кратера Аристарх. Одно из пятен на внешней кромке имело около 20 км в длину и почти $2,5\text{ км}$ в ширину. Некоторые пятна держались больше часа. Эти наблюдения поразительно напоминали наблюдения Гершеля в 1787 г. Исторические изыскания показали, что со времен Гершеля в районе кратера Аристарх наблюдалось более двух десятков подобных объектов.

Даже у «затемнений» была респектабельная родословная. В книге Перси Уилкинса «Наша Луна», вышедшей в 1954 г., отмечено несколько случаев, когда не удавалось разглядеть знакомые детали хорошо известных кратеров. Некоторые опытные наблюдатели приписывали эти периоды плохой видимости лунным «дымкам». Соблазнительно связать эти затемнения с красными пятнами: последние — видимое проявление вулканизма, а первые — невидимые газы, выпускаемые во время менее бурной активности, например подповерхностными потоками.

Красные пятна, облака газов — все это кажется достаточно убедительным, чтобы каждый старался вспрыгнуть на подножку кареты вулканистов, но под влиянием наблюдаемых изменений на Луне за последние несколько лет достаточно интенсивно развивалось и невулканическое течение.

Одно из важных наблюдений последнего времени состоит в том, что суммарный блеск Луны изменяется на 20% в течение цикла солнечной активности, причем он достигает наибольшей величины в период максимума солнечных пятен. Возможно, что тот же солнечный механизм, который увеличивает суммарный блеск Луны (скорее всего «белая» люминесценция), может вызвать иногда местную «красную» люминесценцию.

Таковыми же неуловимыми являются отдельные темные пятна на лунной поверхности, которые появляются и исчезают, бледнеют и темнеют. Темное пятно, хорошо наблюдавшееся в прошлом всеми исследователями Луны в кратере Петавий, в наши дни совершенно исчезло. И наоборот, ни один из первых наблюдателей не видел темных радиальных полос, которые сейчас ярко выступают в кратере Аристарх. Возникновение новых темных деталей и их полное исчезновение происходит довольно редко, но изменения отчетливости — весьма обычное явление. Сообщалось о *движущихся* темных пятнах, и игнорировать такие сообщения нельзя. Американский астроном Вильям Пикеринг сообщил, что пятна в кратере Эратосфен действительно движутся, перемещаясь почти на 30 км за 12 дней. Он предположил, что это могут быть скопления насекомых. Такое объяснение абсолютно неприемлемо в свете нынешних знаний о глубоком вакууме, интенсивном ультрафиолетовом облучении и резком переходе от жары к холоду на поверхности Луны. Однако происходит что-то, в результате чего увеличиваются и

стираются темные пятна. И опять же причину этого нужно искать на Солнце, в вулканах или в ином, совсем неожиданном источнике.

В своей книге «Наблюдения Луны» Патрик Мур посвящает целую главу многочисленным лунным формациям, которые на протяжении веков коренным образом изменились или полностью исчезли. Появились также новые кратеры и другие геологические структуры. Подобные изменения — *вовсе не обычное явление*, а некоторые из них, — вероятно, результат оптического обмана. Луна не мертва, но «жизненные процессы» несомненно происходят на ней медленно.

Обнаружение в инфракрасных лучах «горячих пятен» на Луне дает нам в руки нечто вроде рентгеновских лучей, благодаря чему мы можем «заглянуть» под ее поверхность. Когда поверхность Луны купается в прямых солнечных лучах, она нагревается до очень высокой температуры, значительно превышающей точку кипения воды. Во время лунных затмений надвигающаяся тень Земли вызывает быстрое снижение температуры до уровня ниже точки замерзания воды. Однако Луна остывает неравномерно. Некоторые участки остывают медленно, потому что они покрыты толстым слоем изолирующей пыли. На этих участках солнечное тепло проникает глубоко, а когда Солнце перестает светить — медленно поднимается к поверхности. Тем не менее существует много тепловых аномалий, которые нельзя объяснить переменной толщиной слоя пыли. Когда во время затмения Луны ее поверхность постепенно осматривается приемником инфракрасного излучения, возникает картина лунных горячих пятен, напоминающая экран телевизора. Их сотни. Некоторые горячие пятна сконцентрированы в определенных участках, например в Море Спокойствия, другие связаны с яркими пятнами на Луне, третьи не удается отождествить ни с какими видимыми деталями. Итак, лунные тепловые аномалии или горячие пятна распределены *не случайно и не связаны* с каким-либо определенным типом деталей поверхности Луны. Их *можно было бы* отождествить с областями тепловой активности на Луне, т. е. с местами прошлой, настоящей или будущей вулканической деятельности.

Земные астрономы даже невооруженным глазом неоднократно наблюдали проявления вулканической деятельности на Луне в виде красноватых потоков лавы, отдельных вспышек

пламени при сильных извержениях и, конечно, наносов пепла. Вулканизм в состоянии объяснить множество наблюдаемых мимолетных явлений. Однако история исследования Луны показывает, как легко можно прийти к поспешным ложным выводам. Предположение о вулканической деятельности на Луне может оказаться как раз таким неоправданным поспешным шагом. Кроме того, проблемы вспышек света, люминесценции и меняющих окраску темных пятен возникают перед астрономом независимо от того, какой объект он рассматривает: они характерны для всех планет. Увеличение суммарного блеска *всей* Луны в эпоху максимума цикла солнечных пятен, которое трудно связать с вулканизмом, может хорошо объясняться *нетепловой* природой лунной и планетной оптической активности, начиная с Меркурия и кончая планетами-гигантами.

Облучение светом и бомбардировка элементарными частицами вызывают люминесценцию многих обычных минералов. Например, распространенный минерал флюорит получил свое название в связи с тем, что он начинает ярко светиться * под действием ультрафиолетовых лучей. От этого заключения совсем близко до гипотезы о том, что лунная и планетная люминесценция может вызываться электромагнитным излучением Солнца и потоками частиц, испускаемых во время солнечных бурь.

Как можно доказать существование нетеплового свечения и отличить его от проявлений вулканизма?

Во всех тех случаях, когда можно подозревать стимулирующее воздействие Солнца, сразу же делается попытка сопоставить солнечную активность с интересующим нас явлением. Обнаружение при этом какой-либо зависимости оказывается серьезным доводом в пользу участия Солнца. В случае общего свечения Луны такая зависимость довольно отчетливо выражена. Носящие в высшей степени местный характер «вулканы» Гершеля и недавно наблюдавшиеся Гринекром и другими астрономами вспышки света, по-видимому, не во всех случаях были связаны с явлениями на Солнце. Наблюдения Гринекра в октябре 1963 г. производились всего через 48 часов после интенсивной вспышки на Солнце. По-видимому, некоторые

* *Люминесценция* — общий термин, приложимый ко всем случаям излучения света в результате получения нетепловой энергии. *Флюоресценция* — это такая люминесценция, которая прекращается при выключении источника энергии (например, ультрафиолетовой лампы для флюорита)

другие случаи появления огоньков на Луне были связаны (с запозданием по времени) с определенными солнечными вспышками, а не с общим циклом солнечной активности. Таким образом, создается впечатление, что стимулятором является не прямая бомбардировка солнечными фотонами, происходящая почти без задержки. Скорее всего люминесценция отдельных участков лунной поверхности вызывается более медленными частицами, выбрасываемыми в межпланетное пространство солнечными вспышками. Такие языки солнечной плазмы сталкиваются с магнитопаузой Земли, вызывая магнитные бури и полярные сияния (гл. 6). По логике вещей Луна должна получать часть этих энергичных частиц. Солнечные частицы, сталкиваясь с веществом лунной поверхности, возбуждают некоторые минералы, а затем энергия возбуждения испускается в видимом свете, достигающем наших телескопов.

Другая линия исследований привела к открытию люминесценции некоторых метеоритных материалов при бомбардировке их протонами, обладающими такой же энергией, как и в языках солнечной плазмы. Беда гипотезы состоит в том, что таких частиц в языках плазмы, вероятно, слишком мало для образования ярких пятен, видимых на Луне. Если бы плазму удалось как-то «сфокусировать», то энергетические требования были бы выполнены.

Мысль о фокусировании напоминает нам о том факте, что вспышки на Луне происходят спорадически и носят в высшей степени местный характер, группируясь вокруг Аристарха и некоторых других «активных» кратеров. Не все солнечные вспышки вызывают ответную реакцию на Луне, а красные пятна появляются иногда в неосвещенных областях Луны. Создается впечатление, что Луну поливают солнечной плазмой из шланга. Как это ни странно, такой шланг огненной плазмы существует — это магнитный «хвост» Земли, который «стекает» Луну потоком захваченных частиц. Поскольку хвост Земли направлен в сторону, противоположную Солнцу, то он должен «поливать» Луну в период, близкий к полнолунию. Хвост помогает фокусировать частицы и тем самым обеспечивает энергетические требования люминесценции; в то же время он добавляет еще один элемент изменчивости в довольно случайное распределение лунной активности. Таким образом, люминесценция Луны может зависеть в первую очередь от вспышек на Солнце и во вторую — от магнитного хвоста Земли (беспо-

рядочно болтающегося), который переносит некоторые высокоэнергичные частицы к потенциально активным областям на Луне. Такая последовательность событий слишком длинна, чтобы казаться очень убедительной, но она представляется реальной. Правдоподобность этого механизма подтверждается тем, что по наблюдениям интенсивная люминесценция всегда происходит вблизи эпохи полнолуния.

Если беспорядочный поток возбуждающих солнечных частиц действительно существует, то почему одни участки Луны реагируют на него, а другие оказываются нечувствительными к бомбардировке? Возможно, что в окрестностях Аристарха и других кратеров Луна всегда люминесцирует, но что необходимый поток плазмы падает редко и нерегулярно. По этому предположению активными областями на Луне являются те, в которых соответствующие минералы всегда находятся на поверхности и подвергаются непосредственной плазменной бомбардировке.

Если поток плазмы не слишком узок, то на Луне должна проявляться какая-то случайная активность, которая сказывается на люминесцирующем веществе. Лунотрясения, вулканическая активность и удары метеоритов — все эти явления могли «перепахать» лунную поверхность и обнажить люминесцирующие материалы. Возможно, что большая часть лунной пыли, видной на фотографиях, переданных аппаратом «Сервейор», способна люминесцировать, но тонкий поверхностный слой настолько обработан солнечной радиацией, что люминесценция оказывается невозможной, если в результате какого-то катаклизма на поверхность не будет доставлено свежее вещество.

Лунная люминесценция для астрономии предмет новый. Он находится в зачаточном состоянии, и многие его идеи кажутся «безумными». Лет через десять ученые, возможно, будут смеяться над некоторыми предложенными выше механизмами. Однако Луна несомненно люминесцирует на всей освещенной Солнцем поверхности; зарегистрированы также области красноватого свечения площадью до 130 000 км². Эти явления проще всего приписать действию Солнца. Сугубо местные рубиново-красные пятна, замеченные Гершелем, Козыревым, Гринекром и многими другими, могут быть проявлением люминесценции, вулканизма или какого-то другого, еще не распознанного процесса. Ответ дадут лишь время и космонавты-геологи высадившиеся на Луне.

Помимо роев насекомых Пикеринга, существуют и другие фантастические объяснения вспышек света на Луне и происходящих на ней физических изменений. Великий французский астроном Камилл Фламмарин был тоже убежден в том, что он заметил изменения на поверхности Луны. Как и Пикеринг, он считал, что такие изменения могут объясняться только присутствием жизни — по его мнению, растительной. Может быть, мы поступим не очень хорошо, если упомянем, что этот знаменитый популяризатор науки рьяно поддерживал Лоуэлла и его гипотезу марсианских каналов, а позднее отошел от астрономии и занялся физическими исследованиями. Пожалуй, одной из самых диких гипотез является неоднократно высказывавшееся в научной фантастике предположение, будто лунные кратеры на самом деле возникли в результате атомной войны между обитателями Луны и Земли или Марса, либо других миров, где существовала разумная жизнь несколько миллиардов лет назад.

Наиболее известной из фантастических идей, высказывавшихся в связи с лунными кратерами, была Ледяная Теория, которую энергично пропагандировал немец Гербигер. Согласно этой теории, кратеры — просто озера замерзшей воды. Когда озера после возникновения охлаждались, пары воды поднимались из них по краям и образовывали «ободок» кратера. Ледяная Теория касается всей солнечной системы, а не только Луны. В книге «Фантазия и заблуждения» Мартин Гарднер рассказывает, что в мистической, антиинтеллектуальной атмосфере нацистской Германии Ледяная Теория приобрела миллионы последователей.

Совершенно не связаны с взглядами Гербигера современные более разумные представления о том, что вода и лед могут до сих пор сохраниться на Луне в скрытых местах, которые никогда полностью не освещаются Солнцем или находятся под толстым и изолирующим слоем пыли. Если Луна образовалась из того же вещества, что и Земля, то на ранних стадиях ее истории вода должна была присутствовать в избытке. Некоторые ученые предполагают, что до сих пор там могут существовать гейзеры, выходы пара и ледники.

Упомянув о ледниках, мы не можем не вспомнить о широко известном предположении Томаса Голда (космолога, см. гл. 1), что пыль на лунной поверхности можно считать подобной жидкости, если частицы под действием солнечного излучения

приобретают электростатические заряды. Наэлектризованные частицы пыли могут тогда стекать в углубления и собираться на равнинах и других понижениях. Тот факт, что станция «Сервейор» не погрузилась в трясину текучей пыли, заставил большинство ученых отказаться от пылевой гипотезы. На снимке, полученном с его помощью, виден не покрытый пылью ландшафт, а местность, усеянная множеством открытых лунных камней.

Видимые на Луне изменения, в частности огни, красные вспышки, люминесценция и структурные перестройки, породили теории, связанные с тремя важными, коренным образом отличающимися друг от друга причинами: ударами метеоритов, вулканической деятельностью и возбуждаемой Солнцем люминесценцией. Теперь представляется несомненным, что все эти три явления в какой-то степени на Луне происходят. Вопрос заключается в том, в какой мере лунная активность вызывается каждой из этих причин. Проблема происхождения лунных кратеров тесно связана с наблюдаемыми эффектами, которые могут дать ключ к ее разрешению. Опять-таки не столь важно участие того или иного механизма в образовании кратеров, а важна степень участия в этом процессе вулканической деятельности и метеоритных ударов на протяжении истории Луны. Космонавты проекта «Аполлон» летят в мир, коренным образом отличающийся от нашего. Они должны привезти обратно не только ответы на наши вопросы о лунной активности, но и разгадку тайн, куда более глубоких, чем простые «огни на Луне». С расстояния почти в 400 тысяч километров мы можем быть уверены, что Луна далеко не мертва, и одного этого вполне достаточно, чтобы разжечь аппетиты у ученых и космонавтов *.

* В начале этого раздела автор упоминает о рискованности писать о Луне накануне посадок на нее новых космических станций и, тогда еще казавшейся не столь близкой, высадки на ее поверхность космонавтов. Когда пишутся эти строки (начало 1970 г.), на Луне уже побывали две экспедиции с космонавтами — американские космические корабли «Аполлон-11» и «Аполлон-12». Но писать о Луне, пожалуй, еще рискованнее. Впереди много полетов с высадкой в разных местах лунной поверхности. А те две посадки, что уже имели место, поставили больше вопросов, чем ответили на них. Поэтому мы не будем приводить здесь даже перечень полученных новых результатов, но некоторые из них стоит упомянуть.

Минералогический и даже химический состав Луны очень сильно отличается от земного. И хотя возраст Луны, определенный по

ЛИТЕРАТУРА

- Alter D., Pictorial Guide to the Moon, Thomas Y. Crowell Company, New York, 1963.
 Baldwin R. B., The Face of the Moon, University of Chicago Press, Chicago, 1949.
 Baldwin R. B., The Measure of the Moon, University of Chicago Press, Chicago, 1963.

доставленными на Землю образцам, примерно равен возрасту Земли, материал Луны никогда не был частью земного вещества. Кстати, изучение поверхности Луны интересно и тем, что она (поверхность) сохранилась в «первозданном» виде в отличие от поверхности Земли, очень сильно искаженной влиянием эрозии.

Нет на Луне золота, о котором так мечтали многие писатели-фантасты, зато на ней совершенно неожиданно оказалось нечто вроде стеклянных шариков (капель). Многократно возобновляемая и отвергаемая проблема лунной пыли так и осталась неразрешенной — на месте посадки одного «Аполлона» ее много, а на другом месте ее мало. Пока «Аполлоны» садились в области лунных морей (в частности, первый из них прилунился в Море Спокойствия, упоминаемом в тексте). Следующие «Аполлоны» будут садиться и в лунных горах. Вероятно, читатель уже знает много нового, чего не знал и автор этих строк. Но об этом надо сказать подробнее.

Автор в этом разделе много и подробно писал об изменениях на лунной поверхности. И явно и неявно имеется в виду, что на Луне можно ожидать вулканизма и вообще активности лунных недр. Одним из самых ярких проявлений этой активности должны быть «лунотрясения», ведь и активность земных недр гораздо чаще, чем нам того хочется, проявляется в катастрофических землетрясениях.

«Аполлоны» оставили на Луне сейсмографы. С нетерпением ждали на центре космической связи сигналов о лунотрясениях, — но их не было! Луна мертва — тухлая груда шлака, как выразился Ф. Хойл, космолог, о котором автор так подробно писал в первой главе. Что же тогда наблюдали поколения астрономов, откуда взялись пятна и вспышки — мы не знаем.

Но будем наблюдать дальше, может быть, хоть редко, но все же появятся лунотрясения.

Зато, чтобы вознаградить за отсутствие лунотрясений, сейсмометры, оставленные на Луне, открыли совершенно новое поразительное ее свойство. Выполнявшая свое назначение лунная кабина «Аполлона-12» после того, как космонавты перебрались в основной корабль, была сброшена на поверхность Луны. Этот, казалось бы, не очень сильный удар заставил Луну «трястись» или, можно сказать, «звенеть» почти 55 минут! Земля ответила бы на такой удар небольшим дрожанием, заглушим за несколько минут. Такой «резонанс» можно объяснить тем, что недра Луны твердые и там нет ни пустот, ни областей, заполненных чем-то вязким. В следующий полет «Аполлона» на поверхность Луны сбросят массу, в десять раз большую. Что-то будет? В общем настоящее исследование Луны еще впереди. — *Прим. ред.*

- Firsoff V. A., Strange World of the Moon, Basic Books, New York, 1959.
- Firsoff V. A., Surface of the Moon, Hutchinson, London, 1961.
- Kopal Z., The Luminescence of the Moon, Scientific American, **212**, 28 (May 1965).
- Kopal Z., ed. Physics and Astronomy of the Moon, Academic Press, New York, 1962.
- Kopal Z., Topography of the Moon, Space Science Reviews, **4**, 737 (September 1965).
- Ley W., Watchers of the Skies, The Viking Press, New York, 1963.
- Moore P., Survey of the Moon, W. W. Norton & Company, New York, 1963.

Болдуин Р., Что мы знаем о Луне? Изд-во «Мир», М., 1967.

Луна. Сборник под ред. Маркова, Физматгиз, М., 1960.

Сытинская Н. Н., Природа Луны, Физматгиз, М-Л, 1959.

ПОИСКИ ЖИЗНИ ЗА ПРЕДЕЛАМИ ЗЕМЛИ

В IV в. до н. э. греческий философ Метродор заметил: «Кажется нелепым, что на большом поле растет лишь один стебель, а в бесконечном пространстве существует лишь один мир». Большинство людей, в том числе и ученые, до сих пор придерживаются такого же мнения. Пространство *кажется* безграничным, а жизнь на Земле столь богатой и разнообразной, что существование одного-единственного уникального обиталища жизни среди такого изобилия представляется почти невыносимым. Так думают люди. Так пишут в десятках книг, посвященных возможности жизни на Марсе и сотнях миллиардов других планетных систем.

Но если все это так, то «где же эти существа»? Где инопланетные космические корабли, приземляющиеся, чтобы приветствовать нас как членов галактического сообщества? Где дружеские радиосигналы из межзвездного пространства? Где же хотя бы *один надежный факт*, свидетельствующий о существовании внеземной жизни, пусть даже в форме простейшего микроба?

Некоторые обрывки доказательств в пользу существования жизни за пределами Земли действительно имеются, но они очень ненадежны и допускают иное истолкование. Гипотеза о внеземной жизни требует подтверждения данными, напоминающими, скажем, те наблюдения планет, которые подтвердили ньютоновский закон всемирного тяготения. Если перед Национальной академией наук лично не предстанет какое-нибудь внеземное существо, то надежных данных о жизни «где-то там» еще долго не появится.

Вопрос этот подобен любой другой научной проблеме. Его решение зависит от единодушия: если большинство авторитетных ученых признают свидетельства о внеземной жизни достаточными, то ее существование станет «научным фактом».

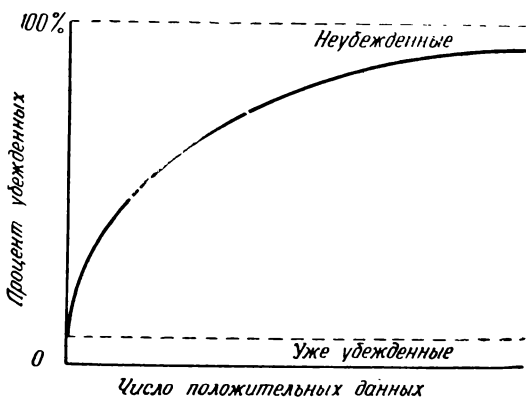


Рис. 37. Число ученых, верящих в существование внеземной жизни, возрастает с появлением новых положительных данных, но всегда будут оставаться люди, считающие эти данные недостаточными или сомнительными.

То же случилось с устаревшей теорией флогистона или светового эфира; как только факт внеземной жизни будет «доказан», его начнут всячески модифицировать и даже полностью опровергать. Каждое новое положительное свидетельство о внеземной жизни, например о хлорофилле на Марсе, убеждает все больше и больше ученых *. По мере накопления таких фактов к этой точке зрения примкнут большинство ученых. Однако единодушие в этом вопросе достигнуто никогда не будет, поскольку имеются упорствующие, которые не изменят своего мнения, разве только после того, как они слетают на Марс и сами исследуют каналы.

Предположим, что, прилетев на Марс, мы увидим абсолютно бесплодную, стерильную пустыню, покрытую кратерами. Что если «уши» наших радиотелескопов в течение грядущих столетий не услышат ничего, кроме бессмысленного писка и бормотания? Большинство из нас почувствуют себя довольно одинокими, но и тогда среди нас будут упорствующие (только другого рода). «Невозможно, — скажут они, — обыскать всю Вселенную, и поэтому нельзя сделать вывод о том, что внеземная жизнь отсутствует». Правильно, но наука и налогоплательщики, воз-

* Свидетельств о наличии хлорофилла на Марсе нет. — *Прим. ред.*

можно, устанут от таких безрезультатных поисков задолго до вылета экспедиций на Юпитер и другие большие планеты. Досужные размышления о жизни никуда не ведут. Воздадим должное любопытству и энергии человечества. Достаточно большое число людей в наши дни верит в возможность внеземной жизни, чтобы требовать от государства отправления на Луну, Марс и Венеру автоматических станций и обитаемых межпланетных кораблей.

Никого полностью не удовлетворит, если опустившийся на Марс космический корабль привезет обратно простое «да» или «нет». Нам нужно знать значительно больше, а не только есть жизнь или ее нет. Первая экспедиция на Марс (или Луну) может сделать одно или несколько следующих открытий.

Протожизнь, когда химическая эволюция достигла такого уровня, при котором молекулы, являющиеся предшественниками жизни (например, аминокислоты, жирные кислоты и др.), присутствуют в достаточном для их обнаружения количестве в среде, подходящей для синтеза еще более сложных молекул.

Примитивная жизнь, когда протожизнь достигает состояния, способного к воспроизведению, обмену веществ и мутации.

Разнообразные формы животной и растительной жизни, включая, быть может, и разумную жизнь.

Ископаемые остатки некогда существовавшей биосферы, а возможно, даже культуры.

Оборудование, занесенное обитателями других миров.

Отсутствие всякой жизни.

Нечто, недоступное пониманию на нашем современном уровне, т. е. *жизнь в тех формах, в каких мы ее не знаем*. (Хорошим примером могут служить явно разумные сигналы или сообщения с различным, но не поддающимся расшифровке кодом.)

Операция по обнаружению внеземной жизни должна быть чрезвычайно гибкой, чтобы охватить все перечисленные выше возможности. В то время как космонавт-биолог может достаточно хорошо приспособиться к тщательному исследованию новой планеты, инструменты для обнаружения жизни сами по себе узко специализированы, как будет видно из дальнейшего. Инструмент, предназначенный для обнаружения на Марсе белых кроликов, может совершенно не заметить зеленых ящериц. Открытие и выяснение природы внеземной жизни будет го-

раздо более трудоемкой задачей, чем объяснение Большого Красного Пятна Юпитера.

Следуя по проложенной журналистами дороге, необходимо сначала суммировать имеющиеся скудные данные о жизни вне Земли, а затем прийти к выводу, что накопление таких данных должно быть основным занятием человека в космическом пространстве. Мы сосредоточим ~~свое~~ внимание на разнообразных соперничающих гипотезах о внеземной жизни и на том, какие именно данные необходимы для их подтверждения, уведя читателя с людной магистрали на свежий воздух «деревенской» логики, где легко просматриваются истинные тонкости внеземной биологии (экзобиологии).

В один прекрасный день в начале 70-х годов на поверхность Марса совершит мягкую посадку автоматическая межпланетная станция. Помимо манипуляторов, крыльев и антенн, выброшенных этим аппаратом, от него протянутся датчики нескольких приборов для обнаружения жизни. Какие вопросы зададут Марсу эти датчики? Одна категория вопросов будет касаться *происхождения* любой жизни, которая может быть обнаружена. Вторая — *природы и характера* этой жизни.

Труднее всего будет задать вопрос о *происхождении* жизни. Ни один отдельно поставленный эксперимент никогда не сможет сказать, какая из следующих трех гипотез наиболее близка к истине:

Жизнь возникла самопроизвольно.

Жизнь существовала всегда и никогда не «создавалась».

Жизнь была создана сверхъестественными силами.

В каждом из этих случаев косвенно задается вопрос: «Что же такое человек? Представляет ли он собой отдельный курьез природы, часть широко распространенного во Вселенной явления или дело рук бога?» Конечно, потребуется множество экспедиций не только на Марс, но и в другие места Вселенной, чтобы собрать действительно важные данные.

Если находящийся на Марсе робот передаст через 150 миллионов километров телевизионную картину поля, заросшего лишайникообразными растениями, то кто сможет ответить, как они туда попали? Они могут быть местными видами, сохранившимися в течение миллиардов лет с тех времен, когда Марс был плодороден и обладал теплыми морями и плотной атмосферой. Или же они могли развиваться из «спор», постояннонося-

щихся во всем космическом пространстве, тех самых, которые были занесены и на Землю. Но может быть жизнь многократно создавалась в разных местах и разных личинах? Само по себе обнаружение жизни не может помочь сделать выбор между гипотезами происхождения жизни. Ответ «да» или «нет» для этого бесполезен.

Наука сосредоточивает свое внимание на двух гипотезах — о самопроизвольном зарождении жизни и вечном ее существовании.

Гипотеза о самопроизвольном зарождении жизни утверждает, что жизнь возникает без постороннего вмешательства всюду и всегда, где складываются подходящие условия. Несколько ниже будет описан ряд весьма любопытных экспериментов, проделанных в этом направлении.

Вторая мысль — о жизни, существующей вечно и воспроизводящей себя с помощью спор, постоянно распространяющихся во Вселенной, — тесно связана со знаменитой гипотезой «панспермии». Основная идея панспермии заключается в том, что жизнь переносится из одного места Вселенной в другое спорами или «семенами» жизни под действием давления излучения или какой-нибудь иной движущей силы. Свидетельства в пользу панспермии ни в коей мере не отрицают многочисленных случаев самопроизвольного возникновения жизни, но они, безусловно, усиливают гипотезу о бесконечности жизни. Естественно, что гипотеза о бесконечности жизни опирается на панспермию, которая бесконечна в пространстве и во времени.

Здесь возникают космологические проблемы. Если правильна модель Большого Взрыва и мы живем в единственной существующей Вселенной, то не может быть и речи о какой-то бесконечной панспермии, поскольку никакие споры жизни не смогут выдержать высокие температуры периодически сжимающегося илема. «Э, — говорит сторонник панспермии, — возможно, не все споры будут втянуты в Большой Взрыв и некоторые из них выживут и заразят охлаждающиеся планеты, возникшие после Большого Взрыва». Если Большой Взрыв допускает существование других Вселенных, то жизнь может сохраняться в охладившихся Вселенных, а потом заражать те, которые были стерилизованы Большим Взрывом. Хотя бесконечную панспермию и можно втиснуть в рамки теории Большого

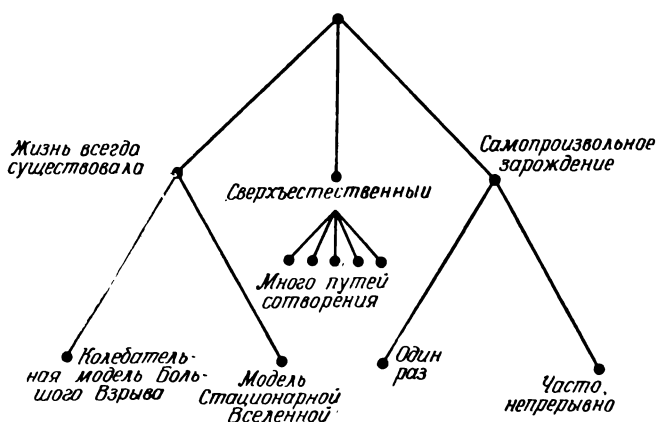


Рис. 38. Схема, показывающая возможные пути происхождения жизни. Эти пути не обязательно взаимоисключающие. Панспермия могла быть связана с любым из указанных путей.

Взрыва, философски она окажется вполне на месте в модели Стационарной Вселенной. Жизнь странствует по бесконечной Вселенной, сосуществуя с материей, светом и даже самим временем, без начала и без конца.

Эти очень высокие мысли возникают у нескольких десятков килограммов протоплазмы на холодном камне, обращающемся вокруг самой рядовой звезды среднего возраста. Что за ирония судьбы, если окажется, что единственная искра жизни во всем океане звезд вспыхнула, живет и философствует на Земле! Но с помощью науки мы должны более широко взглянуть на мир, чтобы выяснить, что же находится за пределами Земли. В первую очередь нужно ознакомиться с земными свидетельствами в пользу самопроизвольного зарождения жизни и панспермии.

Еще не так давно все *знали*, что угри зарождаются самопроизвольно на мокрых полях, освещенных мартовским Солнцем. Или речь шла о червях, возникающих из конского волоса в поилках для лошадей? Это неважно; таких «предрассудков», как мы их теперь называем, были сотни. На некоторое время Пастер решительно искоренил такие заблуждения, экспериментально

«доказав», что жизнь всегда происходит от жизни. (По-видимому, сам Пастер продолжал верить в то, что жизнь иногда может возникнуть самопроизвольно.) Сегодня, несмотря на эксперименты Пастера, мы пытаемся создать жизнь в пробирках. Никому еще не удалось воспроизвести жизнь в лаборатории, но большинство ученых, опираясь на несколько многообещающих экспериментов, полагают, что сделать это можно.

В 1952 г. лауреат Нобелевской премии по химии Гарольд Юри высказал мысль, что первичная атмосфера Земли, вероятно, состояла из водорода, аммиака, водяных паров и метана, молекулы которых самопроизвольно объединялись, образуя основные строительные блоки жизни. Следуя Юри, его ученик в Чикагском университете Стенли Миллер в 1953 г. изготовил стерильную смесь воды с упомянутыми выше веществами. В герметически закупоренном сосуде электрический разряд имитировал ультрафиолетовые лучи Солнца. Через несколько дней Миллер обнаружил в этом искусственном первичном «супе» широкий ассортимент органических молекул, а также несколько аминокислот. Простой эксперимент произвел огромное впечатление. Он обязательно будет упоминаться при любом рассмотрении возможности внеземной жизни.

Эксперименты Миллера были продолжены К. Саганом, К. Поннамперума и Р. Маринером в 1963 г. Взяв несколько органических молекул, самопроизвольно синтезировавшихся в опыте Миллера, и подвергнув их ультрафиолетовому облучению, они получили аденозинтрифосфат (АТФ) — молекулу, необходимую для переноса энергии в земных организмах.

Дистанция между сравнительно простыми аминокислотами и АТФ и организмом, обладающим способностью обмена веществ, двояния и потенциальной возможностью эволюции в более высокие формы жизни, довольно велика. Но у Вселенной для «варки» таких смесей имелись миллиарды лет, а не несколько недель, и ее бесчисленные «горшки» кипели в самых различных «печах». Нельзя еще сказать, что этими простыми экспериментами была по-настоящему доказана возможность самопроизвольного зарождения жизни, но они весьма многообещающи. Опыты Миллера, Сагана и других значительно укрепили веру в гипотезу о самопроизвольном возникновении жизни, а также в существование внеземной жизни.

Важное подтверждение самопроизвольного возникновения жизни может быть получено одним или двумя следующими путями. Не исключено, что когда-нибудь в лаборатории будет переброшен мост через широкую пропасть между жизнью и аминокислотами. Или же если бы космический корабль, отправленный далеко за пределы солнечной системы, обнаружил многочисленные проявления жизни, возникшей в самых разнообразных, необычных для нас условиях, то многие убедились бы, что самопроизвольное зарождение жизни уже неоднократно происходило. Если бы к тому же концепция панспермии полностью себя дискредитировала, то идея разнообразной самопроизвольно зарождающейся жизни получила бы серьезнейшую поддержку.

Подобно самопроизвольному зарождению, панспермия своей историей уходит глубоко в прошлое, за пределы памятников письменности. По-видимому, человек всегда твердо верил во всеобщность жизни и ее плодородие, а также в ее внутреннюю способность к самотранспортировке и восстановлению. Земной опыт подтверждает эту точку зрения, но окажется ли она справедливой на расстояниях в миллиарды световых лет?

Греческие философы IV в. до н. э. впервые высказали мысль, что семена, споры и «эфирные эмбрионы жизни» распространяются по Вселенной во всех направлениях. Честь выдвижения основных концепций панспермии приписывается обычно Анаксагору и Левкиппу, хотя многие тонкости появились позднее. Концепция эта была благосклонно принята также римлянами, в том числе святым Августином и ранними христианами. Однако времена меняются, и Джордано Бруно, защищавший панспермию в XVI в. (наряду с другими еретическими мыслями), был за свои идеи сожжен на костре.

В трудах лорда Кельвина и Германа фон Гельмгольца панспермия становится в XIX столетии *литопанспермией*. Как показывает название, литопанспермия считает, что камни, в частности метеориты, разносят семена жизни по всей Вселенной. Это вполне логичная мысль, так как простые формы жизни, защищенные каменной оболочкой, могут без вреда перенести смертельную радиацию космического пространства и испепеляющую жару при входе в планетные атмосферы. Более того, планете — обители жизни — нет необходимости взрываться подобно некоторым видам растений, чтобы разбросать семена

жизни: удар большого метеорита может выбросить в пространство куски коры планеты. Серьезным подтверждением этого может служить, например, найденный на Земле особый вид метеоритов, названных *тектитами*, которые, по-видимому, были в свое время выброшены с поверхности Луны ударом метеорита *.

Великий шведский химик Сванте Аррениус высказал идею *лучевой панспермии*, а также ввел термин *панспермия* для ее описания. Аррениус полагал, что в пространстве, вдали от сильных гравитационных полей, лучевого давления может оказаться достаточно, чтобы «гнать» мельчайшие споры с места на место во Вселенной подобно микроскопическим парусным лодкам. Споры бактерий особенно жизнеспособны и могут выдержать высокие дозы радиации. Аррениус считал, что для панспермии совершенно не нужен каменный щит микрометеоритов. Однако уровни радиации в пространстве оказались весьма высокими, а сроки путешествия между планетными системами чрезвычайно длительными, поэтому в наши дни лучевая панспермия почти не имеет сторонников.

Писатели-фантасты ввели в сюжеты многих книг идею *искусственной панспермии*. Обычно в них какая-нибудь сеющая добро галактическая раса путешествует с планеты на планету, разбрасывая семена жизни. Кроме того, существует случайная или непреднамеренная искусственная панспермия, когда космические корабли разносят микробов по Вселенной. Возможно, что американцы и русские уже заразили Луну и Марс своими не полностью стерилизованными космическими аппаратами. Не исключено, что во время будущих путешествий биологи обнаружат «круги заражения», распространяющиеся вокруг остатков космических кораблей, подобно «ведьминым кольцам» грибов.

Коллекция межпланетных спор и (или) плодоносных метеоритов сильно поддержала бы гипотезу панспермии, но в наши дни соответствующие мероприятия не планируются. Однако, если в далеком будущем окажется, что жизнь не только широко распространена во Вселенной, но и обладает сходными свойствами, которые можно приписать нескольким видам меж-

* Доказательств, что тектиты были выброшены с поверхности Луны, нет. — *Прим. ред.*

звездных «семян», позиции панспермии снова усилятся. Конечно, подлинно убедительное доказательство панспермии будет трудно уловимым. Сторонники самопроизвольного зарождения могут всегда возразить, что любое сходство форм жизни на разных планетах вытекает из подобия основных химических блоков жизни, точно так же как снежинки приобретают шестиугольную форму под действием молекулярных сил сцепления кристалликов льда.

Одна из жгучих современных проблем «жизни» связана с редким типом метеоритов, названных *углистыми хондритами*. Большинство подобранных после падения метеоритов либо «железные», либо «каменные», а углистые хондриты — черные, землистые и рыхлые. После того как хондрит несколько лет пролежит на поле, подвергаясь действию среды, даже опытный искатель метеоритов может пройти мимо, не обратив на него никакого внимания. Впервые падение углистого хондрита было зарегистрировано в Южной Франции 15 марта 1806 г. Удивленные грохотом и раскатами грома, напоминающими канонаду, французские крестьяне увидели падение с неба двух черных обломков, врезавшихся в землю. На месте падения собрали ряд теплых черных кусков. Шведский химик Якоб Берцелиус, получив через 28 лет один из этих кусков, не мог поверить, что перед ним настоящий метеорит. Тем не менее он подверг его анализу и обнаружил богатое скопление органических веществ, напоминающих садовую почву. «Дает ли это, — спросил он, — основания утверждать, что на внеземных телах имеются организмы?» Если метеориты, которые по расчетам доставляют на Землю за сутки 10 000 тонн внеземного вещества, действительно переносят жизнь, то панспермия, по крайней мере внутри солнечной системы, кажется реальностью.

С течением времени и другие ученые обратили внимание на химические особенности углистых хондритов, но современные жаркие споры об их природе начались лишь в марте 1961 г. Работая с обломками известного метеорита Оргейль, упавшего около деревни Оргейль в Южной Франции, Бартоломей Наги, Дуглас Хенесси (оба из Фордама) и Уоррен Мейнштейн (в прошлом сотрудник компании «Esso Research and Engineering Company») заявили, что они обнаружили богатое скопление углеводородов, сходных с углеводородами живого вещества на Земле. Вскоре микроскопические исследования метеорита Оргейль

привели к открытию не только загрязняющих земных микроорганизмов, но также особых «организованных элементов». Наги и микробиолог из Нью-Йоркского университета Джордж Клаус опубликовали в английском журнале «Nature» статью, в которой описали пять классов образований, выглядевших подозрительно жизнеподобными. Некоторые из них имели форму сферы с выбросами, другие — форму цилиндра с поверхностью, как бы украшенной изящными скульптурными деталями. Некоторые из организованных элементов настолько походили на земные морские водоросли, что им дали ученые названия наподобие *Caelestites sexangulatus* (шестигранник с неба).

Опытный читатель сразу же заметит, что здесь перед нами все признаки классического противоречия в науке. Сомневающийся может выразить недоверие обоснованности основных наблюдений, подобно тем астрономам, которые не видели марсианских каналов; он может заявить, что исследуемый метеорит был заражен земными организмами, пока несколько десятилетий лежал на музейной полке; наконец, можно заявить, что это мистификация. Все эти пути были испробованы силами, отрицающими идею жизни в метеоритах. И действительно, один осколок метеорита Оргейль много лет назад кто-то пытался фальсифицировать в биологическом отношении. Хотя известие об этом было встречено противниками жизни с удовлетворением, все же анализ многочисленных углистых хондритов с органическим содержанием продолжался. Самые большие споры вызвала проблема загрязнения. Не исключено, что в метеориты попадают пыльца растений и другие «семена» и вносят путаницу в исследования. Возможно также небиологическое возникновение довольно сложных органических соединений, подобных указанным выше в экспериментах, связанных с самопроизвольным зарождением. (Даже нефть *можно* получить небиологическим путем.)

Отчаянный спор продолжается до сих пор. Пыл его несколько остынет, если первые космонавты на Луне найдут углистые хондриты с упомянутыми выше углеводородами и жизнеподобными «организованными элементами». Обвинение в загрязнении было бы также снято, если бы какой-нибудь весьма уважаемый ученый (а еще лучше — группа ученых) увидел падающий метеорит, поднял его, быстро доставил в лабораторию еще

тепленьким и нашел в самых глубоких трещинах те же самые организованные элементы.

Если в конце концов окажется, что жизненные формы свойственны углистым хондритам, то откуда они могли появиться? Ответ покажется просто поразительным: *«Конечно, с Земли»*. Несомненно, в прошлом удары метеоритов выбивали в космическое пространство куски земной коры; некоторые из них, возможно, достигли скорости убегания и длительное время обращались вокруг Солнца, пока в один прекрасный день не вернулись, напугав каких-то французских крестьян. Если может происходить подобное распространение земной жизни путем взрыва, то наши космонавты, возможно, найдут земную жизнь повсюду, куда бы они ни полетели в пределах солнечной системы. В то же время Луна, Марс или какой-либо астероид могли породить жизнь и затем занести ее на Землю — локальная форма литопанспермии. В настоящее время совершенно очевидно трудность отделения источника семян от того сада, который из этих семян вырос; это похоже на попытки найти то дерево, из семян которого вырос колоссальный еловый лес.

Более легкомысленным, но не совершенно нелепым завершением рассказа о панспермии является предположение о том, что углистые метеориты представляют собой наследство какого-то прежнего обитателя или посетителя солнечной системы, сознательно пожелавшего оставить неуничтожаемый, насыщенный информацией знак своего пребывания. Возможно, науке следовало бы более тщательно разобраться в этих организованных элементах, чтобы понять, что они собой представляют*.

Не добившись многого (в научном смысле) в отождествлении источника (источников) жизни, мы надеемся на большую удачу при раскрытии природы внеземной жизни. Под словом «природа» подразумевается: какова внеземная жизнь, особенно по сравнению с земной, и, более узко, по сравнению с человечеством.

Изображенная на рисунке лестница принципиальных возможностей начинается с основного вопроса: существует или нет

* Автор слишком много внимания уделил панспермии. Сейчас мало ученых считает ее соответствующей действительности. Кроме того, панспермия не решает вопрос о зарождении жизни, а только отодвигает его «подальше». — *Прим. ред.*



Р и с. 39. Схема возможных характеристик внеземной жизни. И здесь возможности друг друга не исключают.

внеземная жизнь? Предположив, что за пределами Земли жизнь существует, и отбросив вопрос о ее происхождении, который мы разрешить не могли, мы оказываемся перед двумя возможностями: либо это *жизнь в той форме, которую мы знаем*, либо *жизнь в той форме, которую мы не знаем*. Существуют классические категории, но они также определены довольно легковесно. В химическом составе весьма похожего внешне на человека внеземного существа (гуманоида) место углерода может (если немного напрячь воображение) занять кремний. Как бы нам ни нравилось играть с этим гуманоидом в шахматы или пить пиво, все равно мы вынуждены поставить на нем клеймо: жизнь,

которую мы не знаем. В то же время какое-либо чудовище с выпученными глазами может испугать нас до полусмерти и тем не менее быть жизнью в том виде, в котором мы ее знаем. Земная жизнь настолько разнообразна, что представить себе *по-настоящему другие* формы жизни трудно. Сейчас еще отсутствуют рациональные принципы выделения этих двух классов. Возможно, что осуществить это деление нельзя и вся жизнь — это *жизнь в той форме, которую мы знаем*. Конечно, это было бы свидетельством в пользу всеобщей панспермии.

Независимо от того, близкие мы родственники с представителями внеземной жизни или весьма отдаленные, следующий выбор связан с вопросом: разумна эта жизнь или нет. На самом деле это означает, умнее ли меня это существо? Если оно умнее, то оно будет задавать вопросы и проблема легко разрешится. Если же стало бы ясно, что человек выше, то можно было бы применить земные лабораторные лабиринты и тесты умственного развития. Если отбросить шутки, то разум — это еще одна трудно определяемая категория: вряд ли в наши дни кто-либо придает большое значение количеству очков, оценивающих ответы на вопросы тестов. Шкала интеллекта, которую трудно применить к обитателям Земли, будет, вероятно, бесполезна на другой планете.

Следующий классический вопрос — является ли только что захваченное незнакомое существо гуманоидом, т. е. обладает ли оно достаточным числом характеристик человека. Установить это чрезвычайно просто, поскольку здесь все зависит лишь от внешнего вида. Пожалуй, чаще всего гуманоиды встречаются в научной фантастике, где понимание этих инопланетных существ прямо пропорционально степени их человекообразности. В подлинной Вселенной незнакомая разумная жизнь, если она вообще существует, скорее всего пошла по абсолютно другому эволюционному пути. Большинство экзобиологов уверены в том, что вероятность существования других гуманоидов бесконечно мала.

А считают ли они так? Этот вопрос заставляет нас углубиться в философские размышления. Какой бы искусственной нам ни показалась эта мысль, но, может быть, существует единство жизни во Вселенной, которое мы не можем осознать, потому что знаем только один пример — земную жизнь. *Весьма возможно*, что существует один или лишь очень малое число

каналов, по которым эволюционирует жизнь. В качестве иллюстрации можно привести атомы, которые соединяются в молекулы совершенно определенным образом. Большие молекулы, подобные обычно участвующим в жизненных процессах, состоят из строительных блоков, которые должны соединяться *только определенным образом*. Правда, огромное число возможных вариаций в структуре генов и хромосом создало захватывающую дух панораму существующих и вымерших форм жизни; однако «древа жизни», столь часто встречающиеся в учебниках биологии, имеют толстые центральные стволы с отходящими от них тяжелыми ветвями. Вероятно, мы не будем слишком удивлены, если обнаружим незнакомое существо, обладающее двусторонней симметрией, красной кровью и большим мозгом. Настаивать на том, что зародившаяся жизнь *всегда* ведет к человечеству, значит находиться на грани мистицизма, но хотя жизнь и сложна, она может оказаться не бесконечно сложной, и одна из столбовых дорог эволюции может вести прямо к человеку (или еще дальше).

Древние греки твердо верили во всеобщность жизни и пытались обосновать свою идею, сформулировав *субгинотезы* о самопроизвольном зарождении жизни и панспермии. Жизнь существует повсюду на Земле: на всех континентах, во льдах Антарктики и в кипящих гейзерах Йеллоустона, на вершине Эвереста и в Марианской впадине, во всех закоулках и трещинах нашего шарика. И греки и наши предки имели все основания распространять результаты своих земных наблюдений на Луну и планеты, которые, как им казалось, очень похожи на Землю. Однако идея повсеместного существования жизни в небесных масштабах стала выглядеть обреченной, когда наука начала более тщательно исследовать планеты и установила, что на них нет подходящих атмосфер и они либо слишком горячи, либо слишком холодны. Но эта отрицательная точка зрения, господствовавшая всего лишь несколько десятилетий назад, теперь рассеивается по мере более внимательного исследования планет и, что более важно, самой жизни. Приводимые ниже не очень надежные данные настроили науку (пользуясь ходовым термином) на «осторожно оптимистический» лад в вопросе о возможности обнаружения внеземной жизни.

Единственным *прямым* свидетельством внеземной жизни, *находящимся в наших руках*, являются углистые хондриты, ко-

торые представляют собой такое сомнительное доказательство, что ни один адвокат и не подумал бы им воспользоваться. Имеются еще три группы свидетельств:

Вероятностные подсчеты числа планет во Вселенной, пригодных для существования жизни, и возможности действительного присутствия на них жизни.

Признаки жизни на других планетах (особенно на Марсе) и опыты, показывающие, что земная жизнь *могла бы* на них выжить.

Сигналы других цивилизаций.

В ближайшем будущем (в начале 70-х годов) добавится четвертая группа доказательств, связанная с прямыми экспериментами по обнаружению жизни на поверхности других планет, когда космические корабли опустятся на Марс. Существует очень малый шанс, что еще до 1970 г. на Луне будет обнаружена жизнь или ее остатки*.

Если бы вы хотели вычислить вероятность рождения совершенно одинаковых близнецов, то за основу могли бы взять опыт прошлого, разделив число родившихся за год близнецов на общее число родившихся младенцев. Этот же метод можно было бы использовать при вычислении вероятности обнаружения жизни на Марсе, если бы мы до этого исследовали множество похожих на него других планет. Поскольку мы этого не делали, то о *вероятностных вычислениях, основанных на опыте*, в экзобиологии не может быть и речи.

Тем не менее, чтобы зарабатывать свой ежедневный кусок хлеба, ученый должен уметь предсказывать. Когда отсутствует

* Исследования образцов лунной почвы, доставленной на Землю американскими космонавтами со всеми предосторожностями (чтобы исключить возможности заражения как этих образцов, так и от этих образцов), не обнаружили там ни малейших следов какой-либо жизни. Правда, особенно горячие оптимисты могут возразить, указав, что исследованы пока две небольшие области на поверхности лунных морей, а жизнь могла бы быть в других областях или на некоторой глубине, но на это остается уже ничтожно малый шанс.

Марсианские перспективы тоже не очень обнадеживающие. Первая посадка на Марс аппаратов с приборами, способными обнаружить следы жизни, предполагается около 1975 г. Но если судить по тому, что мы сейчас знаем о Марсе на основе фотографий, сделанных автоматическими станциями «Маринер» 4, 6 и 7, то шанс обнаружить там жизнь если и не очень, то все же достаточно мал. — *Прим. ред.*

опытная основа, скажем, в форме законов Ньютона, он строит «обоснованные догадки», которые иногда бывают хороши, а иногда плохи. Чтобы найти число «обитателей» жизни во Вселенной, ученый должен прежде всего знать число звездных систем с теплыми планетами, пригодными для развития жизни. Жизнь не может развиваться при температурах звезд или таких постоянно замороженных шаров, как, например, Плутон. Для вычислений необходимы следующие данные: число устойчивых звездных систем, в которых имеются планеты, число таких планет, которые существуют достаточно долго, чтобы на них могла развиваться жизнь (самопроизвольно или путем попадания зародышей извне), и вероятность того, что при этих подходящих условиях жизнь разовьется.

Астроном Харлоу Шепли высказал предположение, что планетные системы имеются, возможно, у одной звезды из тысячи. Одну мы знаем точно — это Солнце. Кроме того, вокруг звезды Барнарда и некоторых других звезд, вероятно, обращаются большие темные тела. «Обоснованная догадка» Шепли по крайней мере опиралась на наблюдения. Дальше пойдут скорее интуитивные, чем обоснованные догадки. Предположим, что только у одной звезды из тысячи, окруженных планетами, имеются планеты, расположенные на расстояниях, обеспечивающих подходящие температуры. Умножая эти вероятности, мы получим, что лишь у одной звезды из миллиона имеются планеты с подходящей температурой. Два других требования, каждое из которых уменьшает вероятность существования жизни в тысячу раз, — присутствие атмосферы и наличие в ней кислорода. Обычно принимается (по скромным подсчетам), что одна планета с подходящими условиями приходится на триллион (10^{12}) звезд. Предполагается также, что жизнь *всегда* возникает на планетах с подходящими условиями.

Весь этот процесс вычисления вероятности напоминает те усилия, которые несколько веков назад предпринимались для вычисления числа ангелов, танцующих на острие булавки. Зная величину булавки и средние размеры ангелов, можно было провести весьма точные вычисления, предполагая прежде всего, что ангелы собираются танцевать. Другими словами, вычисление количества обитаемых планет может быть по большей части достаточно аккуратным и разумным, но оно не опирается на наблюдения реального мира.

В действительности при таких вероятностных вычислениях наука выражает в числах *веру* в то, что Вселенная так велика и так усеяна кажущимися бесчисленными галактиками, что просто немыслимо представить себе, чтобы для эволюции жизни была выбрана одна-единственная планета — наша. Вероятностная аргументация равносильна словам Метродора о том, что лишь «один стебель на большом поле» — нелепая мысль.

Для того чтобы завершить вероятностные вычисления, добавим, что по одной космологической модели во Вселенной имеется 10^{21} звезд. Умножив эту величину на 10^{-12} , получим, что 10^9 , или один миллиард звезд, *вероятно*, имеют планеты, на которых существует жизнь. В действительности, конечно, их может вообще не быть ни одной, за исключением Земли, или может быть бесконечно много, если вы хотите верить в бесконечную Вселенную.

Если мы обратимся от обоснованных догадок к данным наблюдений, то вспомним, что планета Марс посылает в наши телескопы и спектроскопы несколько знаков жизни. Телескоп показывает нам марсианские полярные шапки, которые отступают во время марсианской весны. Это «таяние» полярной шапки сопровождается «волной потемнения», распространяющейся к экватору. Количественно и субъективно такая последовательность событий создает образ полярных шапок, тающих под слабым, но более теплым весенним Солнцем, освобождая воду в жидком виде или в виде пара, покрывающего почву, которая возвращает к жизни дремлющую растительность по мере продвижения на юг (или в южном полушарии — на север). К сожалению для гипотез, касающихся жизни на Марсе, волну потемнения могут вызвать абиогенные или нежизненные механизмы. Поясним это примером. На Марсе имеется сезонная смена ветров, и весной ветер может сдувать мелкую пыль с возвышенностей, которые темнеют либо потому, что оставшиеся частицы крупнее, либо потому, что сами возвышенности темного цвета. Пылевая гипотеза так же разумна, как и заявление о существовании жизни на Марсе. Выбор гипотезы жизни кажется в высшей степени субъективным.

Сторонники гипотезы жизни объясняют данные наблюдений тем, что темные области покрываются пылью во время пылевых бурь, а затем «восстанавливаются», как будто растения стряхивают ее с себя или пробиваются сквозь этот слой. Пылевая

гипотеза (не единственная абиогенная схема) также хорошо объясняет эти данные: тонкий слой пыли быстро исчезает с возвращением после пылевой бури обычно дующих ветров.

Гипотеза жизни получила бы серьезное подкрепление, если бы спектроскоп в конце концов показал, что полярные шапки состоят из замерзшей воды, а зеленый цвет темных пятен определяется спектрами растений. В течение последних нескольких десятилетий спектральные исследования привели к различной интерпретации состава полярных шапок: их считали состоящими из замерзшей воды, замерзшего углекислого газа (сухого льда) и из N_2H_4 . Противники гипотезы жизни всегда с радостью сообщают о том, что полярные шапки состоят не из воды. На самом деле этот вопрос нельзя считать решенным, несмотря на «окончательные» доказательства, провозглашенные газетами и научно-популярными книгами. Получение и интерпретация спектров поглощения маленьких белых пятен на слабой и довольно холодной планете, отстоящей от нас на десятки миллионов километров, — дело довольно коварное. Справедливыми могут оказаться как все три упомянутых выше мнения, так и какие-нибудь новые.

Наиболее интересными спектральными исследованиями Марса, по крайней мере для энтузиастов гипотезы жизни, были исследования американского астронома Вильяма Синтона 1959 и 1961 гг. Он обнаружил, что темные участки Марса (которые, как предполагают, покрыты растительностью) в инфракрасной области спектра характеризуются тремя полосами поглощения на длинах волн 3,45, 3,58 и 3,69 μ *. Многие молекулы углеводов поглощают свет у длины волны 3,45 μ , а поглощение в области 3,69 μ типично для уксусного альдегида. Из этих фактов был сделан разумный вывод, что на Марсе имеются органические вещества. Лет пять «полосы Синтона» усиленно рекламировались как лучшее доказательство жизни на Марсе. Осторожные исследователи предупреждали, что такие же полосы поглощения в инфракрасной области спектра дают различные неорганические соединения, но для многих людей факт существования жизни был теперь доказан. Затем выяснилось, что виновными являются молекулы тяжелой воды (HDO) земной атмосферы: они поглощают часть инфракрасных фотонов

* 1 микрон (μ) = 0,000001 м.

на длине волны 3,4 мк. Направленный на Марс спектроскоп не отмечает, где на луче зрения находятся поглощающие молекулы, он просто показывает, что где-то «всасывает» фотоны. Полосы Синтона выглядят сейчас в высшей степени подозрительно.

Поскольку эксперименты по обнаружению жизни непосредственно на поверхности Марса еще не могут быть поставлены, лучше всего воссоздать марсианскую поверхность в земной лаборатории и посмотреть, будет ли на ней процветать жизнь. «Жизнь» здесь должна означать земную жизнь. Идея такова: если земная жизнь сохранится в воссозданных марсианских условиях, значит, на Марсе может существовать какой-то вид жизни при условии, что жизнь там вообще имеется.

В герметически закупоренном сосуде, воспроизводящем условия в экваториальной области Марса, обеспечивался суточный перепад температур примерно от -70°C до $+21^{\circ}\text{C}$. Атмосферное давление в сосуде устанавливалось около $1/40$ земного (25 мм рт. ст.), причем азот составлял значительно больше 90% всего воздуха и к нему добавлялось 2—3% углекислого газа и менее 0,1% кислорода. Полон в экспериментальной камере служила песчаная почва со следами влаги. Для полного сходства образец земной жизни облучался искусственным солнцем с интенсивностью, немного меньшей половины интенсивности солнечного освещения на Земле. Важным и, возможно, решающим отличием от солнечного света на Марсе было отсутствие сильной ультрафиолетовой составляющей, поглощаемой озоном земной атмосферы. Для уничтожения бактерий используются лампы ультрафиолетового света, так что отсутствие озона в верхних слоях атмосферы Марса может препятствовать развитию жизни на этой планете.

С 50-х годов аппаратура, воспроизводящая марсианские условия, была установлена во многих местах. Типичными для ранней стадии работы были знаменитые «марсианские кувшины» Школы космической медицины Военно-воздушных сил США. В этих «марсианских кувшинах» длительное время жили и даже процветали микроорганизмы, занесенные вместе с распыленным песком, взятым из Окрашенной пустыни. Более поздние эксперименты такого рода показывают, что некоторые земные растения, например огурцы, могут прорасти, вырасти, но не будут цвести в марсианских условиях. В течение нескольких

недель выживают даже насекомые. Особенно устойчивы лишайники, которые продолжают жить, несмотря на ультрафиолетовое облучение, в несколько тысяч раз более интенсивное, чем испытываемое ими на Земле.

Опыты с марсианскими условиями демонстрируют, во-первых, устойчивость земных форм жизни и, во-вторых, что эти условия не абсолютно враждебны жизни. Самое большое, что могут дать такие эксперименты, — это ослабить наше удивление, если жизнь на Марсе в конце концов будет найдена. Ни у кого пока не хватило смелости и финансовых средств, чтобы установить, какие формы земной жизни могут выжить в гораздо более суровых условиях Луны и Венеры, если это вообще возможно.

Собранные таким путем свидетельства внеземной жизни далеко не являются решающими. Однако к 1980 г. космонавты и автоматические станции, побывавшие на других планетах солнечной системы, так или иначе ответят на этот вопрос, хотя бы в пределах этого маленького участка Вселенной. Вероятно, не раньше чем через 100 лет с Земли будут отправлены автоматические звездные корабли к тем ближайшим звездам, у которых имеются подходящие небольшие планеты. Пройдет еще столетие, прежде чем эти корабли достигнут места своего назначения и мы получим несколько слабых телеметрических сигналов сквозь колоссальные расстояния в световые годы, на фоне которых наша солнечная система выглядит такой уютной и компактной. Для тех, кто не может ждать, пока техника создаст ракеты, движущиеся со сверхсветовыми скоростями, и аппараты для телепортации (транспортировки материи), встречающиеся в научной фантастике, открыта другая дорога: если мы не можем пойти к другим цивилизациям, то, может быть, они придут к нам или уж по крайней мере поговорят с нами по радио. Возможно, они уже пытаются завязать с нами контакты или они это делали в прошлом, но их сигналы остались незамеченными.

Если разумно и без эмоций можно рассматривать идеи Лоуэлла о сети марсианских каналов, то так же непредубежденно можно подойти к необычным радиосигналам, принятым в прошлом. Никола Тесла был непризнанным и довольно эксцентричным хорвато-американским инженером-электриком. Он не только

одержал верх над Эдисоном в споре о постоянном и переменном токе, но также заявил, что первым принял межпланетный радиосигнал. Во время опытов Тесла по беспроволочной передаче энергии в Колорадо в 1899 г. его аппаратура зарегистрировала периодические сигналы с «отчетливо выраженным числом и порядком». Тесла не мог их приписать каким-либо известным естественным или искусственным источникам электромагнитных возмущений. Он писал: «Хотя я не мог расшифровать их значения, нельзя было считать их совершенно случайными... за этими сигналами крылась цель... они являются результатом попытки каких-то человеческих существ поговорить с нами с помощью сигналов... Я абсолютно уверен, что они не вызваны ничем земным». Хотя Тесла дожил до 1943 г., он отказался сообщить подробности, касающиеся этих странных сигналов.

В сентябре 1921 г., находясь на борту своей яхты «Элеттра», Гуильемо Маркони принял сигналы, которые он назвал «межпланетными». Сигналы, принятые «в метровом диапазоне», были правильными и, по-видимому, закодированными. Единственная буква азбуки Морзе, которую разобрал Маркони, была буква «V». Он считал, что сигналы возникли где-то в космическом пространстве. По какому-то странному совпадению Маркони сам неоднократно передавал кодовую букву «V» в своих первых радиопередачах 1899 г.

Другие экспериментаторы-коротковолновики начального периода, особенно профессор астрономии и ученый со многими противоречивыми идеями доктор Дэйвид Тодд, тоже заметили странные регулярные сигналы, часть которых периодически повторялась. Это было время, когда радиоспектр еще не трещал по всем швам от радио- и телевизионных программ, но вокруг было достаточно динамомашин и другого электрического оборудования, чтобы такие эксперименты выглядели сомнительными. Еще более странными были «эхо» коротковолновых передач, о которых сообщали Б. ван дер Поль и К. Штёрмер в 1927 и 1928 гг. Некоторые наблюдатели в Европе приняли экспериментальные сигналы, переданные Штёрмером и ван дер Полем, но с запозданием в несколько секунд. Казалось, что что-то отражает или отправляет обратно сигналы. Время запаздывания было так велико, что для чистого отражения необходимы были

расстояния, по крайней мере равные расстоянию от Земли до Луны. Загадка этих «эхо» так и не была разгадана.

Когда читаешь историю приема аномальных радиосигналов, поражаешься числу «эхо», т. е. приема земных радиосигналов, переданных ранее и задержавшихся иногда на секунды, а в двух хорошо известных случаях — на 22 года. Некоторые смельчаки высказали предположение, что какая-то соседняя цивилизация разбросала автоматические ретрансляторы вокруг тех планет, на которых, как им казалось, развивается жизнь. Наилучший способ, с помощью которого чужеземная машина могла бы привлечь внимание жителей Земли, — это повторять, как попугай, принятые сигналы. Если пойти дальше по пути нашей «модели», то можно вообразить, что эта инопланетная цивилизация, находящаяся на расстоянии примерно в 11 световых лет, была предупреждена своими автоматическими сигнальными устройствами, следящими за Землей, о возникновении земной техники и, по-видимому, держала нашу планету под наблюдением в течение нескольких десятилетий. Такова история аномальных радиосигналов. Как и в случае марсианских водных путей, захватывающая надстройка опиралась на слабое основание скурых фактов, фактов, отмеченных одним или несколькими наблюдателями и вообще вряд ли повторимых для других ученых.

За исключением результатов Тодда, полученных во время противостояния Марса в 1924 г., прием внеземных радиосигналов, если они именно таковыми и были, оказывался чисто случайным до 8 апреля 1960 г., когда был введен в действие проект Озма. Руководитель проекта Озма Франк Дрейк назвал свою программу по имени принцессы сказочной страны Оз, населенной экзотическими существами. По плану Озма должно было производиться «прослушивание» внеземных сигналов от двух соседних звезд, у которых предполагается существование планет: Тау Кита и Эпсилон Эридана. Прослушивание производилось в области частоты 1420 Мгц, на которой испускается знаменитый «сигнал» межзвездного водорода. «Ухом» служил 25-метровый радиотелескоп Национальной радиоастрономической обсерватории Грин Бэнк, Западная Виргиния.

Проект Озма начал осуществляться без большого шума, потому что ожидалась насмешки со стороны многих ученых за разбазаривание рабочего времени телескопа на поиски таких

неуловимых вещей, как голоса иных цивилизаций с далеких звезд. Осторожность была не напрасной, поскольку, как только весть о проекте Озма дошла до ученого мира, он, как и предсказывалось, разбился на два непримиримых лагеря: насмешников и сторонников.

Помимо некоторого волнения вначале, явно вызванного секретными экспериментами с радарными противовоздушной обороны, проект Озма ничего не уловил в течение 150 часов прослушивания, предоставленных желающим разговаривать обитателям иных миров. Проект дал нулевой результат; нулевой результат может быть тоже полезен для науки, как это видно на примере опыта Майкельсона—Морли, но хулителю проекта Озма превратили весьма мягкое «нет» в отношении внеземной жизни в самое категорическое «нет» в отношении дальнейших исследований в этом направлении. Проект Озма так и не был возобновлен. Однако можно не сомневаться, что радиопрослушивание будет продолжаться — одобренное или неодобренное, публично или тайно; ну кто может долго не подходить к трезвонящему телефону или не отвечать на возможные сигналы других цивилизаций!

Свидетельства в пользу внеземной жизни суммировать легко: для ученых-сухарей здесь существуют лишь еле заметные намеки, настолько слабые, что ими легко можно пренебречь; для тех же, у кого есть хоть немного воображения, двери, ведущие к самым важным открытиям в истории человечества, маняще распахнуты настежь.

Какие действия можем мы предпринять, чтобы удовлетворить жадное любопытство по поводу своего места и судьбы во Вселенной, будучи совершенно невежественными в вопросе о происхождении и распределении жизни? Будут продолжены земные биологические эксперименты по выявлению источника (источников) земной жизни; что же касается перспектив обнаружения внеземной жизни и особенно жизни разумной, то они настолько неутешительны, что многие ученые прекращают дальнейшие усилия в этом направлении. Возможно, шансы обнаружить инопланетную жизнь незначительны, но *они будут равны нулю, если мы не будем ничего предпринимать*. Естественно, ученые, занятые космическими исследованиями, считают, что поиски жизни нужно начать немедленно, земные же астрономы и биологи говорят, что выделенные ассигнования

лучше потратить на эксперименты на Земле. Только правительство может финансировать посылку на Марс космической ракеты. Программа космических исследований США предусматривает поиски внеземной жизни по крайней мере на Марсе с помощью автоматических межпланетных станций, которые совершат мягкую посадку на поверхность этой планеты. Аналогичной официальной программы для Луны нет, поскольку все почти единодушно считают, что Луна стерильна.

Ученые и инженеры проявили огромную изобретательность в конструировании специальных инструментов для обнаружения марсианской жизни с помощью маленькой автоматической станции. Если бы телевизионная камера, установленная на борту такой станции, передала панораму Марса с явными признаками растительности или, возможно, с остатками биосферы, погибшей миллиарды лет назад, наука получила бы самое убедительное доказательство того, что где-то еще в солнечной системе произошло самопроизвольное зарождение жизни или что проявилась какая-то форма панспермии. Хотя в конце концов мы увидим крупным планом картины марсианской поверхности, напоминающие фотографии Луны, снятые «Сервейором», ученые должны заранее подготовиться к определению тех форм жизни, которые, вероятнее всего, окажутся на Марсе и будут недоступны телевизионным камерам. Своей целью охотники за жизнью выбрали микроорганизмы. На Земле микроорганизмы, например бактерии, можно найти на каждой песчинке в любых мыслимых условиях. Они заселили землю, воду и воздух почти с момента возникновения жизни. Более того, они многочисленны, устойчивы, легко могут быть захвачены и представляют собой идеальный объект для охоты, контролируемой по радио с расстояния в сотни миллионов километров.

Чтобы уловить марсианский микроорганизм, машина должна только взять небольшой образец пыли, грунта или скальной породы с помощью небольшого пылесоса или липкой ленты. Если марсианские микроорганизмы хоть слегка напоминают земные по своей распространенности, то образчик марсианской жизни получить будет легко.

С образцом грунта можно делать только одно — рассматривать его, конечно, в микроскоп. Пневматическая система для взятия образца грунта с марсианской поверхности может сдуть частицы на «липкую» фокальную плоскость в микро-

скопе с дистанционным управлением. Тогда любые микроорганизмы можно будет наблюдать непосредственно. Возможно, с помощью такого инструмента удастся рассмотреть даже скелеты или остатки давно умерших видов. Отождествление с образцами неживой природы и возможное земное загрязнение — факторы, от которых страдают другие инструменты для определения жизни, — будут в значительной мере исключены.

Для выявления жизни имеется несколько чисто физических испытаний:

Образчик можно облучить светом, чтобы определить, происходит ли биолюминесценция.

Образчик можно растворить, пропустив сквозь раствор свет, чтобы установить, поворачивается ли плоскость поляризации. Молекулы, связанные с жизнью (например, молекулы сахаров), обычно особым образом вращают плоскость поляризации.

Молекулы, связанные с жизнью, можно также отождествить с помощью инфракрасной и ультрафиолетовой спектроскопии.

Тяжелые молекулы в образчике могут быть отождествлены масс-спектрометром, разделяющим их электромагнитным методом по массам.

Упомянутые выше четыре физических метода определяют скорее не саму жизнь, а связанные с нею химические соединения. Присутствие на Марсе, например, аминокислот серьезно подкрепило бы, но не доказало факт существования там жизни. Опыты Миллера и других по самопроизвольному зарождению жизни показали, что крупные, связанные с жизнью молекулы могут создаваться неживыми механизмами.

В руках экзобиолога имеются также химические способы отождествления марсианских молекул. Обычные в химических лабораториях хроматографы можно легко модифицировать для работы на далеком Марсе. Они значительно проще любых пробирочных экспериментов «мокрой химии», которые можно было бы применить для отождествления молекул.

Более убедительным, чем отождествление аминокислоты, было бы наблюдение за каким-либо жизненным процессом, например обменом веществ. (Обмен веществ типичен по крайней мере для земной жизни.) Один такой детектор жизни был назван «Гулливером» по имени героя Свифта, искавшего необычные формы жизни в далеких землях. Аппарат «Гулливер» использует метод меченых атомов для обнаружения углекислого

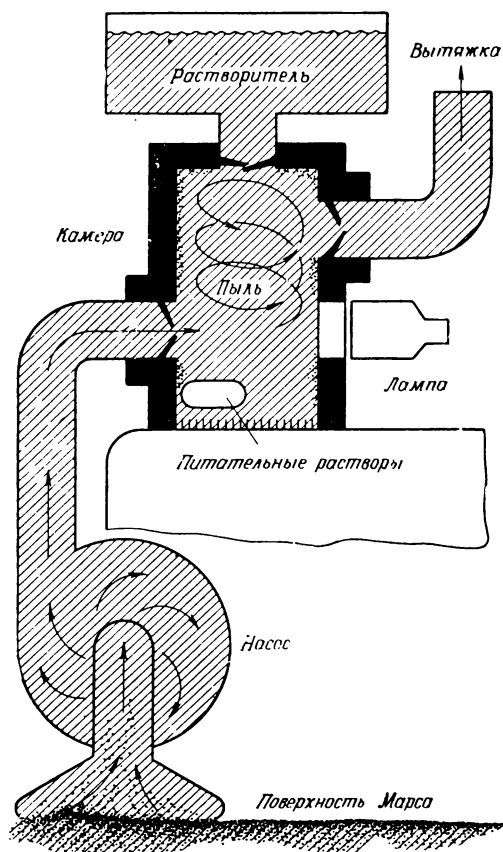


Рис. 40. Схема типичного детектора жизни, показывающая процесс взятия образца и камеру, в которой исследуется рост, обмен веществ и некоторые другие свойства.

газа, вырабатываемого образцом, автоматически получающим пищу, которую любят земные микроорганизмы. Конечно, если CO_2 не будет вырабатываться, то это будет означать, что в прибор вложен стерильный образец. Другой детектор марсианской жизни — «волчий капкан» — назван так скорее по имени своего изобретателя Вольфа Вишняка, чем из-за своих потен-

циальных жертв *. В «волчий капкан» всасывается с поверхности марсианская пыль, которая затем подкармливается питательными растворами. Обычно продукты обмена веществ хорошо питаемых микроорганизмов вызывают изменение рН испытываемого раствора. Поэтому в «волчий капкан» вмонтирован счетчик рН. Если микроорганизмы, захваченные «волчьим капканом», окажутся в благоприятной обстановке, они начнут размножаться (еще одно качество, указывающее на присутствие жизни) и вызовут помутнение раствора. В «волчьем капкане» сквозь раствор культуры пропускается пучок света и измеряется изменение его интенсивности со временем. Уменьшение интенсивности указывало бы на помутнение раствора и, возможно, на размножение марсианских организмов.

Но марсианские ли это организмы? Почти все аппараты для обнаружения жизни могут подозреваться в том, что они загрязнены земными организмами. Практически невозможно полностью стерилизовать космический корабль и его приборы с помощью химикалий или высоких температур. Земные «бактерии» цепляются за жизнь с большой силой, и мы никогда не можем быть абсолютно уверены в том, что земные микроорганизмы не проникли каким-то образом из ракетного топлива (углеводородные топлива кишмя кишат ими) в детектор жизни.

Какие другие конкретные шаги в поисках внеземной жизни можно предпринять, помимо посылки ракет на соседние планеты солнечной системы и направления «радиоушей» проекта Озма на ближайшие звезды? Весьма любопытное предложение было сделано американским физиком Фрименом Дайсоном: ищите инфракрасные звезды. Дайсон считает, что цивилизация другой звездной системы вполне могла нас значительно опередить в техническом отношении. (На Земле техническая цивилизация существует лишь несколько сотен лет из нескольких миллиардов, протекших с момента возникновения жизни.) Такая цивилизация, по-видимому, уже использовала все свои природные богатства и ядерное топливо и обратилась к другому источнику энергии — своему солнцу. Дайсон считает возможным — и даже вероятным, — что высокоразвитая цивилизация могла построить и построила вокруг своего солнца оболочку из энергетических преобразователей, которая захватывала бы и

* Wolf — по-английски волк. — *Прим. ред.*

использовала всю испускаемую им энергию. Возможно, что в течение ближайшего тысячелетия мы сделаем то же самое. Имея в качестве источника энергии «укрошенную» звезду, цивилизация может начать строить реальные планы межзвездных путешествий. Звезда, окутанная искусственной непрозрачной оболочкой, является для нас не источником видимого света, а скорее источником инфракрасного излучения, достигающего максимума, скажем, при температуре 40°C , поскольку отходы тепла от преобразователей энергии рассеиваются в холодное пространство. Ни один естественный объект на небе не мог бы выглядеть как звезда, «укрошенная» развитой технической цивилизацией, и поэтому обнаружение подобного объекта было бы равносильно обнаружению жизни.

Если уж мы так далеко зашли в своих фантазиях, то можно предложить другой план обнаружения внеземной жизни. Вместо того чтобы «пускать на ветер» бесчисленные миллионы человеко-лет в поисках на ракетах подходящих звезд, мы, земляне, могли бы запустить в плоскости Млечного Пути, где сосредоточено большинство звезд, необитаемые корабли-вестники — назовем их автоматами. Двигаясь в межзвездном пространстве, эти вестники могут время от времени делать непродолжительные остановки на подходящих астероидах для пополнения запасов топлива и рабочего вещества и даже для постройки новых автоматов, чтобы сохранить постоянную плотность кораблей-вестников по мере удаления их от Земли. Невозможно? Не для техники завтрашнего дня. Мы уже знаем, что можно синтезировать топлива и рабочие вещества из материалов, находящихся в окрестностях звезды, а самовоспроизводящиеся машины исследуются уже несколько десятилетий.

Являются ли такие великие деяния бесполезными и не стоящими затраченных на них усилий, подобно гигантским пирамидам, колоссальной плотине Грэнд Кули и высадке космонавтов на Луне, которые люди, не идущие в ногу с веком, называли бессмысленными? Конечно, нет, потому что там, среди звезд, могут быть другие цивилизации, другие философские теории. Знание и понимание Вселенной навсегда останется жалким и ограниченным, если мы не выйдем за пределы фактов, которые можно получить в солнечной системе. Наука и техника, несмотря на их ограниченность и белые пятна, являются единственно доступными для нас средствами пере-

движения к этим новым мирам, которые, возможно, содержат ответы на наши глубочайшие вопросы.

ЛИТЕРАТУРА

- Allen T., *The Quest, A Report on Extraterrestrial Life*, Chilton Books, Philadelphia, 1965.
- Boehm G. A. W., *Are We being Hailed from Interstellar Space?*, *Fortune*, 63, 144 (March 1961).
- Cameron A. G. W., ed., *Interstellar Communication*, W. A. Benjamin, Inc., New York, 1963 (русский перевод: «Межзвездная связь», изд-во «Мир», М., 1965).
- Corliss W. R., *Space Probes and Planetary Exploration*, D. Van Nostrand Company, Princeton, 1965.
- Drake F. D., *Intelligent Life in Space*, The Macmillan Company, New York, 1962.
- Firsoff V. A., *Life beyond the Earth*, Hutchinson Scientific and Technical, London, 1963 (русский перевод: Фирсов В., *Жизнь вне Земли*, изд-во «Мир», М., 1966).
- Horowitz N. H., *The Search for Extraterrestrial Life*, *Science*, 151, 789 (Feb. 18, 1966).
- Huang S., *Life Outside the Solar System*, *Scientific American*, 202, 55 (April 1960).
- Jackson F., Moore P., *Life in the Universe*, W. W. Norton & Company, New York, 1962.
- Ovenden M. W., *Life in the Universe, A Scientific Discussion*, Anchor Books, Garden City, New York, 1962 (русский перевод: Овенден М., *Жизнь во Вселенной*, изд-во «Мир», М., 1965).
- Шкловский И. С., Sagan C., *Intelligent Life in the Universe*, Holden-day, New York, 1966 (см. также: Шкловский И. С., *Вселенная, жизнь, разум*, 2-е изд., изд-во «Наука», М., 1965).
- Simpson G. G., *The Nonprevalence of Humanoids*, *Science*, 143, 769 (Feb. 21, 1964).
- Sullivan W., *We Are Not Alone*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1964 (русский перевод: Салливан У., *Мы не одни*, изд-во «Мир», М., 1968).

Внеземные цивилизации (Проблемы межзвездной связи). Сборник под ред. С. А. Каплана, изд-во «Наука», М., 1969.

Фесенков В. Г., *Жизнь во Вселенной*, изд-во «Знание», М., 1964.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА	5
1. НИ НАЧАЛА, НИ КОНЦА?	7
2. КВАЗАРЫ: У ГРАНИЦ БЕСКОНЕЧНОСТИ	36
3. ИЗМЕРЕНИЯ ВОЗРАСТА ВСЕЛЕННОЙ	55
4. ПРОВЕРКА ТЕОРИИ ЭЙНШТЕЙНА	68
5. КАК РАБОТАЕТ ЗВЕЗДА	91
6. ОДИННАДЦАТИЛЕТНИЙ ПУЛЬС СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ . . .	110
7. БЛУЖДАЮЩЕЕ КРАСНОЕ ПЯТНО ЮПИТЕРА И ДРУГИЕ ЧУ- ДЕСА	131
8. ВОПРОС О КАНАЛАХ	151
9. ДЕЛО О ПРОПАВШЕЙ ПЛАНЕТЕ	173
10. ОГНИ НА ЛУНЕ	191
11. ПОИСКИ ЖИЗНИ ЗА ПРЕДЕЛАМИ ЗЕМЛИ	218

Кормисс

ЗАГАДКИ ВСЕЛЕННОЙ

Редактор *Л. В. Самсоненко* и *Е. А. Медушевская* Художник *В. А. Медников*
Художественный редактор *В. И. Варлашин* Технический редактор *Е. С. Потапенкова*

Сдано в производство 30/IV 1970 г. Подписано к печати 29/IX 1970 г. Бум. кн.,
журн. 60×84¹/₁₆ = 7,75 бум. л. 14,42 усл. печ. л. Уч.-изд. л. 13,55. Изд. № 27/5546.
Цена 64 коп. Зак. 612.

ИЗДАТЕЛЬСТВО «МИР»
Москва, 1-й Рижский пер., 2.

Ордена Трудового Красного Знамени
Ленинградская типография № 2 имени Евгении Соколовой Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР, Измайловский проспект, 29