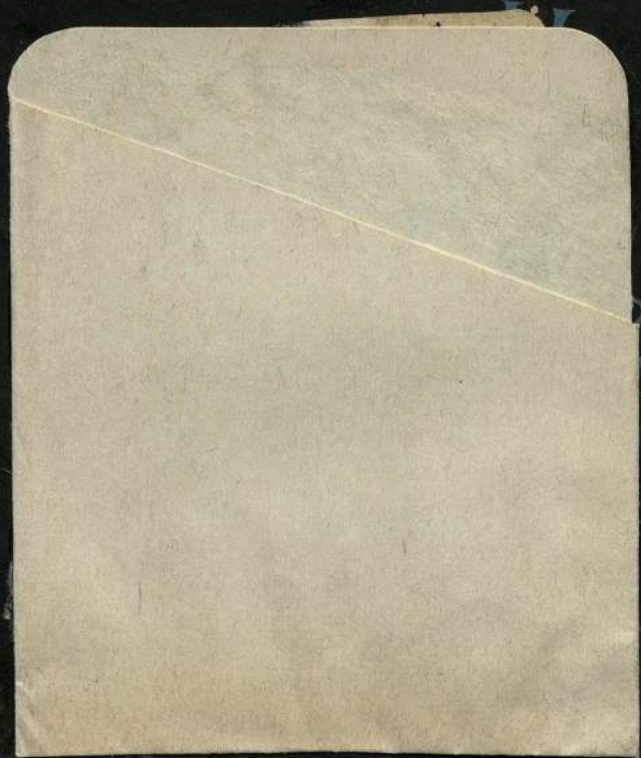
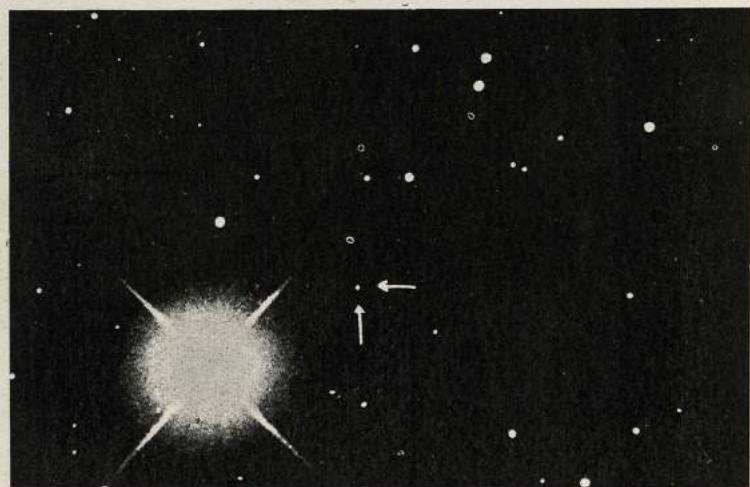
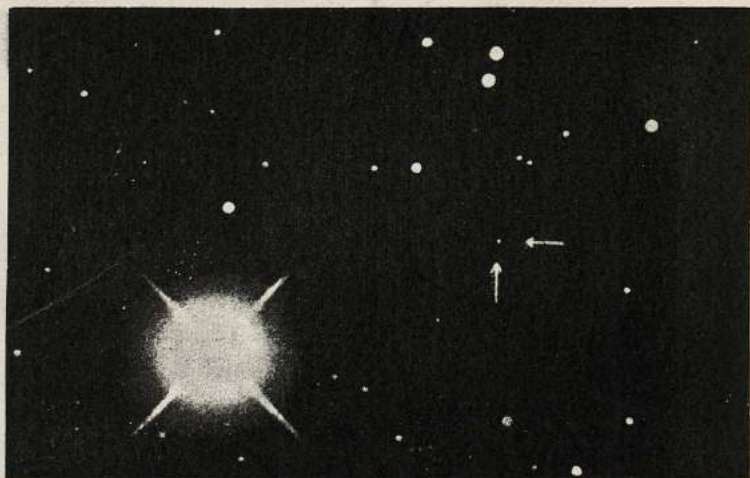


L $\frac{44}{248}$





~~+~~
23925



Лоуэлль-обсерватория.

Оба снимка получены на Лоуэлль-обсерватории 2 и 5 марта 1930 г. Объект, отмеченный стрелками, значительно сместился на этот промежуток, чем и был обнаружен его планетарный характер. Яркий объект в нижнем углу есть звезда δ Близнецов (См. прим. к стр. 319).

THE UNIVERSE
AND US

BY

SIR JAMES LEAVIS



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ТЕХНИКО-
ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

THE UNIVERSE AROUND US

BY

SIR JAMES JEANS



LENINGRAD · 1932 · MOSCOW

44
248

9/5
24/2008

ВСЕЛЕННАЯ ВОКРУГ НАС

ДЖЕМС ДЖИНС

2-ое ИЗДАНИЕ

ПЕРЕВОД СО 2-ГО
АНГЛИЙСКОГО ИЗД.
Н. ИДЕЛЬСОНА
С ПРЕДИСЛОВИЕМ
М. ШИРВИНДА



ЛЕНИНГРАД · 1932 · МОСКВА

Художественное оформление А. А. Ушина

Ответственный редактор Е. В. Пулькина

Технический редактор Р. В. Эмдина

Корректор Н. А. Тырса-Эльманович

2-я типография ОНТИ им. Евг. Соколовой.

Ленинград, пр. Красных Командиров, 29



932549-38



2015062023

ПРЕДИСЛОВИЕ.



опулярные книги, написанные крупными мастерами науки, интересны тем, что они не только знакомят, «из первых рук» с научными новинками, но позволяют читателю проникнуться пафосом ученого, его изумлением и восторгом при открытии новых, неизвестных вещей. Большой ученый похож на ребенка. Он всюду находит новое и постоянно спрашивает «почему?»

Ученые — большие романтики, чем о них обычно думают; но пафос их относится к вещам, которые по общему мнению могут быть только объектами строгой и трезвой мысли, лишенной всяких следов эмоций и воображения.

Джинс, несомненно, один из самых интересных романтиков науки. Его «Вселенная вокруг нас» — увлекательнейший фантастический роман, хотя и написанный так, что он удовлетворит требованиям самого изысканного знатока науки. И если некоторые страницы этого романа покажутся слишком фантастическими, почти невероятными, то здесь вина не автора, а его героев — туманностей и звезд. Современная наука настолько расширила рамки нашего знания, открыла так много «удивительных» вещей, что трезвый научный трактат, основанный на исключительно богатом подборе фактов, превращается в блестящем изложении Джинса в захватывающий роман. Благодаря этому, книга Джинса, посвященная труднейшим вопросам современной космогонии, читается сравнительно легко (если не считать отдельных страниц) и доступна значительному кругу советских читателей. Необходимо еще указать, что «Вселенная вокруг нас», хотя и принадлежит перу одного из крупнейших матема-

тиков и астрономов нашего времени, тем не менее написана исключительно богатым красочным и образным языком, представлявшим, кстати сказать, огромные трудности для перевода.

Три идеи заслуживают особого внимания в книге Джинса:

1. Принцип единства земной и космической физики. По мнению Джинса, звезды — естественные лаборатории, позволяющие гораздо глубже исследовать строение и свойства материи, чем это возможно в земных условиях. «Конечная цель астрофизики, — говорит Джинс, — слить космическую физику с земной, так чтобы получилась всеобъемлющая наука».

2. Основываясь на принципе единства космической и земной физики, Джинсу удалось построить интересную теорию, объясняющую загадку неистощимости звездного излучения.

Еще в начале нашего столетия было установлено, что Солнце должно было бы, принимая во внимание мощь его излучения, сгореть при самых лучших условиях в несколько десятков миллионов лет, т. е. чуть ли не в «дни своего раннего младенчества».

Откуда же эти запасы солнечной энергии?

Согласно теории Джинса протоны и электроны в атоме сближаются вследствие высоких температур, существующих внутри звезд, настолько, что они взаимно нейтрализуют друг друга, т. е. «уничтожаются» как вещество, превращаясь в энергию, которая с течением времени выходит на поверхность звезды и наконец, после продолжительного путешествия, достигает нас в форме излучения. Так как ничтожные частички вещества, «уничтожаясь», дают огромное количество энергии, то нет ничего удивительного в том, что лучеиспускательная способность звезд остается в течение огромных периодов времени почти неизменной, притом за счет очень незначительной потери звездной массы.

3. Эта гипотеза, устанавливающая гораздо большие сроки существования небесных тел, чем предполагалось раньше, позволила Джинсу обосновать новую теорию происхождения солнечной системы. Классическая гипотеза Канта-Лапласа, сыгравшая огромную роль в борьбе светского мировоззрения с религией, в настоящее время устарела. Отдельные дополнения и поправки, данные в работах Роша, Фая, Дарвина, ее мало спасают.

По теории Джинса, планеты образовались в результате распада мощной струи вещества, вырванной из недр Солнца другой, более массивной звездой, подошедшей к нему слишком близко. Сближения звезд, вызывающие подобную катастрофу, происходят согласно вычислениям Джинса крайне редко (вследствие огромных расстояний между звездами); но они должны случаться благодаря огромным срокам существования звезд.

Все эти теории имеют важнейшее значение для современной космогонии. Джинс — автор этих теорий и он развивает их здесь с огромным мастерством. В этом большой интерес его книги.

Однако, при всех ее достоинствах, она все же полностью удовлетворить советского читателя не может. На книге лежит печать буржуазного мировоззрения. Достаточно указать хотя бы на крайне наивную «теорию» происхождения науки, развиваемую во введении (стр. 24). Джинс тщательно отграничивает теорию от практики. Практика понимается им в узко утилитарном смысле. На этом основании Джинс заявляет: «В настоящее время утилитарный подход к астрономии сократился до узких пределов. Правда, государственные обсерватории передают по радио сигналы времени и этим помогают вести корабли по океану; но центр астрономических интересов переместился так основательно, что... в общем современный астроном уделяет, пожалуй, гораздо больше внимания звездам, столь далеким, что свет от них идет к нам сотни, тысячи или даже миллионы лет, чем нашим ближайшим со-

седам в пространстве — планетам» (стр. 21). Это не мешает Джинсу несколькими строками ниже объяснить значение подобного «чисто» теоретического интереса для практики: «Всякое расширение наших астрономических знаний, — пишет он, — может дать толчок к развитию наших знаний в физике и химии». Но главное — джинсово понимание науки не объясняет значения астрономии для общественно-классовой практики. В руках пролетариата современная астрономия является мощным идеологическим средством классовой борьбы, грозным оружием в битвах с религиозным суевением и ханжеством. Эту роль астрономии Джинс чувствует и потому старается притупить те выводы, которые следуют из открытых им фактов.

Факты доказывают правильность материализма, но Джинс делает из них идеалистические выводы. Например, развивая свою теорию уничтожения вещества, Джинс склонен в духе энергетиков рассматривать материю как форму энергии и фактически приходит к выводу, что материя исчезает. Между тем такой вывод решительно ничем не оправдан. Энергия, как известно, обладает массой и весом, и значит противопоставлять ее материи или веществу просто невозможно. Загадочное «уничтожение» вещества представляет собой, следовательно, процесс превращения одной формы материи в другую форму, с иным пространственным распределением энергии и массы. Это естественный результат эквивалентности массы и энергии — двух связанных между собой качеств единой материи. Недиалектически отрывая энергию от массы, Джинс получает возможность сделать идеалистические выводы об уничтожении материи.

Традиционный для буржуазных ученых агностицизм (рассчитанный на то, чтобы оставить лазейку для религии и идеализма) оказал, конечно, заметное влияние на Джинса. Задачу науки он в духе Маха и его школы видит исключительно в описании, сообразно принципу экономии мышления. На этом основании Джинс отрицает существо-

вание эфира. «Эфир, — пишет Джинс, — был исключен из науки не потому, что ученые в целом сформировали обоснованное суждение, что такой вещи не существует, но в силу того, что они нашли возможным описывать превосходнейшим образом все явления без него. Он просто портил картину, и они от него отказались». ^② Джинс забывает о «мелочи». Если отказаться от эфира, то нужно электромагнитные волны объявить фикцией и значит поставить под сомнение существование материи.

Агностицизм Джинса выражается также в настойчивом стремлении установить пространственно-временную ограниченность мира (что связано, при известной интерпретации второго закона термодинамики, с мистическими выводами о «тепловой смерти» вселенной).

В настоящей книге Джинс очень осторожно и двусмысленно высказывает свои соображения по этому поводу, приводя кроме теории Эйнштейна и различные другие теории. Раньше Джинс делал свои выводы, целиком основываясь на взглядах Эйнштейна о конечности вселенной. Но новейшие наблюдения настолько «раздвигают границы мира», что ставить вопрос о его конечности не имеет никакого реального смысла. К тому же взгляды Эйнштейна на этот вопрос логически не вытекают из его теории относительности. Последняя, как известно, сводит гравитационное действие материи к кривизне пространства: вблизи больших масс пространство искривляется и следовательно «заворачивается» вокруг материи. Мысль Эйнштейна следующая: где есть весомая материя, там имеется и искривленное пространство. Таким образом по сути дела тезис Эйнштейна об искривлении пространства имеет исключительно значение теоретической формулы, позволяющей геометризовать определенный способ актив-

^② В виду того, что эти рассуждения в последней главе книги не представляют большого интереса и выходят за пределы плана книги, несколько страниц в переводе опущены (стр. 325—340 английского оригинала).

ности материи (именно ее гравитационное действие). Но если даже оставить в стороне это соображение, все равно опыт решительно не дает нам никаких оснований полагать, что запас материи во вселенной ограничен, а раз так, то вместе с бесконечностью материи надо признать и бесконечность мира.

Таковы основные недостатки в общих установках книги Джинса. Но при всем том «Вселенная вокруг нас» благодаря огромному богатству свежего и в высшей степени ценного научного материала, будет крайне полезной и нужной для советского читателя. Факты, из которых Джинс делает идеалистические выводы, послужат нам для дальнейшего развития диалектического материализма, боевого научного мировоззрения, враждебного идеализму и религии.

М. Ширвиндт.

ПРЕДИСЛОВИЕ АВТОРА К ПЕРВОМУ ИЗДАНИЮ.

Настоящая книга заключает в себе краткий и написанный простым языком обзор методов и результатов современных астрономических изысканий, притом как теоретических исследований, так и наблюдательных работ. Особенное внимание обращено в ней на проблемы космогонии и эволюции и на общие вопросы строения вселенной. Моя цель — по всей вероятности никогда не достижимая вполне — состояла в том, чтобы вся книга была доступной читателям, не обладающим специальной научной подготовкой.

Некоторые части книги касаются тех же тем, о которых я говорил в лекциях, прочтенных мною недавно в Кембриджском университете и перед другими аудиториями, включая ряд радиобесед, которые я вел осенью 1928 года. Все эти лекции и беседы пришлось переработать почти заново, так что у очень немногих фраз сохранилась здесь их первоначальная форма; однако все те, кто просил меня опубликовать мои беседы и лекции, найдут, что основное их содержание передано в настоящей книге.

Доркинг, май 1929.

ПРЕДИСЛОВИЕ АВТОРА КО ВТОРОМУ ИЗДАНИЮ.

Подготавливая второе издание, я имел возможность воспользоваться значительным числом указаний, полученных мною от корреспондентов и критиков; всем им я выражаю мою искреннюю признательность. Во второе издание включены данные о новой планете Плутоме; я коснулся

в нем вопросов о вращении галактики, о видимом расширении вселенной, а также и некоторых других тем, значение которых возросло со времени появления первого издания; вообще, я стремился к тому, чтобы довести содержание книги до уровня современности.

Д. Джинс.

Доркинг, 2 августа 1930.

ВВЕДЕНИЕ.

ОБ ИЗУЧЕНИИ АСТРОНОМИИ.



Вечер 7 января 1610 года — памятный день в истории человечества: Галилео Галилей, профессор математики в университете города Падуй, впервые направляет на небо построенный им самим телескоп.

Больше чем за три века перед тем Рожер Бэкон изобретая очки, уже пояснял, как можно устроить телескоп, с тем чтобы «видеть звезды так близко от нас, как мы того захотим». Он показал, какую форму нужно придать чечевице для того, чтобы она собирала все лучи света, которые попадут на нее от отдаленного предмета, преломляла бы их так, чтобы все они соединялись в фокусе и затем передавались через зрачок на сетчатку глаза. Такой прибор должен увеличить силу человеческого глаза, точно так же как слуховой рожок увеличивает силу слуха тем, что он соединяет все звуковые волны, падающие извне в его широкое отверстие, сгибает их и затем через наружное отверстие уха передает на барабанную перепонку.

Однако только в 1608 г. Липперсхей, оптик из Фландрии, построил первый телескоп. Прослышав про этот инструмент, Галилей принялся выяснять основы его устройства и вскоре сам построил телескоп, гораздо лучший, чем произведение фландрского мастера. Инструмент Галилея вызвал в Италии удивление не малое. Про силу телескопа передавали так много удивительных вещей, что Галилею было предложено привезти его в Венецию и показать дожу и сенату этого города; тогда все население Венеции могло видеть, как самые старые сенаторы взбирались на высокие колокольни для того, чтобы смо-

треть в телескоп на корабли, которые были еще так далеки, что без телескопа их вовсе нельзя было увидеть. Телескоп вбирал примерно в сто раз больше света, чем невооруженный глаз, ^② и, как утверждал Галилей, предметы на расстоянии пятидесяти миль казались в нем столь же отчетливыми, как если бы до них было всего пять миль.

И вот, весь поглощенный своим новым инструментом, Галилей почти совсем оставил в стороне те проблемы, над которыми он прежде много размышлял. Больше чем за две тысячи лет Пифагор и Филолай учили, что Земля не покоится неподвижно в пространстве, но обращается вокруг своей оси в каждые двадцать четыре часа, вызывая тем самым смену дней и ночей. Аристарх Самосский, быть может величайший греческий математик, к тому же еще утверждал, что Земля не только вращается около своей оси, но и описывает годичный путь вокруг Солнца, и что в этом причина круговорота времен года на Земле.

Но потом эти учения впали в немилость. Аристотель высказался против них: по его учению Земля была неподвижным центром вселенной. Затем Птоломей, для объяснения видимой картины движений планет по небесному своду, предложил сложную систему циклов и эпициклов: планеты движутся по кругам около точек, которые в свою очередь движутся по кругам около неподвижной Земли. Это учение было санкционировано церковью; она дала ему активную поддержку; и правда, могла ли она считать, что все, чему она учит, произошло не в самом центре вселенной?

^② Едва ли нужно здесь упоминать, что это совершенно ничтожно в сравнении с силой современных телескопов; самый мощный из них, 100-дюймовый (254 см) рефлектор на Моунт-Вильсоне собирает в 2500 раз больше света, чем крошечный инструмент Галилея, и следовательно в 250 000 раз больше, чем невооруженный глаз. Можно надеяться, что в недалеком будущем в Калифорнии будет построен 200-дюймовый рефлектор; он будет собирать в 4 раза больше света, чем 100-дюймовый, т. е. в миллион раз больше, чем невооруженный глаз.

Однако и внутри самой церкви доктрины Птолемея не получили общего признания. Орезм, епископ в Лизье, и кардинал Николай Кузанский высказывались против них; последний еще в 1440 г. писал:

«Давно уже считал я, что Земля не неподвижна в пространстве, но движется подобно прочим небесным телам. Мне представляется, что Земля один раз в каждые сутки обращается вокруг своей оси».

В более поздние эпохи всем тем, кто сочувствовал таким взглядам, пришлось столкнуться с жестоким противодействием церкви. В 1600 г. Джордано Бруно был сожжен на костре. Вот что он писал:

«По-моему, божественной премудрости и силы недостойно создание одного конечного мира, раз она может наряду с ним создать другой и еще других бесконечность; и потому я утверждаю, что существует бесчисленное число миров, подобных миру Земли; вместе с Пифагором я полагаю, что Земля есть звезда и что ей подобны Лунг, планеты и другие звезды, число которых бесконечно, и что все эти тела суть миры».

Однако, самый веский удар по правоверным доктринам был нанесен не богословами и не философами, а польским астрономом Николаем Коперником (1473—1543). В своем великом труде «De revolutionibus orbium coelestium» Коперник показал, что сложная система птоломеевых циклов и эпициклов была ненужна, так как видимые движения планет по небесному своду можно объяснить весьма просто, если только предположить, что Земля и планеты движутся по кругам, в центре которых покоится Солнце. Прошло шестьдесят шесть лет после выхода этой книги; о новой теории шли горячие споры, но она оставалась все еще и недоказанной и неопровергнутой.

Между тем Галилей уже знал, что его телескоп может служить средством испытания астрономических теорий. Как только он направил его на Млечный Путь, так рассеялась, подобно легкому дыму, вся вереница сказок и легенд, созданных для объяснения его природы; оказалось, что это просто рой слабых звезд, рассеянных как золотая пыль на темном своде небес. Вслед за тем телескоп раскрыл ему истинную природу Луны. На ней были видимы

горы, они отбрасывали тень, и потому Луна оказалась миром, подобным нашей Земле, как уже утверждал Джордано Бруно. Нельзя ли теперь с помощью телескопа каким-нибудь образом решить, где правда: на стороне ли правоверной доктрины, по которой Земля есть ось всего мироздания, или за новым учением о том, что Земля есть только одно из многих тел, кружащихся вокруг Солнца подобно мотылькам вокруг огня?

И вот Галилей ловит Юпитера в поле своего телескопа и видит, как четыре малых тела кружатся вокруг массивной планеты, подобно четырем мотылькам вокруг свечи. То, что он открывает, есть точное подобие солнечной системы, какой ее представлял себе Коперник, и в этом получается прямое и очевидное доказательство по меньшей мере того, что такие системы не чужды строю вселенной. Однако, как это ни удивительно, Галилей в своем открытии не сразу усмотрел все те последствия, которые оно влекло за собой: он утверждал только, что открыл четыре новых планеты, которые как бы гоняются друг за другом, обращаясь все снова и снова вокруг Юпитера.

Полной и окончательной ясности он достигает лишь через девять месяцев, наблюдая фазы Венеры. Венера могла быть самосветящимся телом, и в этом случае она всегда обращала бы к нам полный яркий диск. Если бы она не светилась собственным светом и вращалась бы по птоломееву эллипсу, то, как показал уже сам Птоломей, мы никогда не могли бы видеть больше чем половину ее освещенного диска. С другой стороны, из коперниканского учения о солнечной системе вытекало, что Венера и Меркурий должны обнаруживать явления фаз, подобных фазам Луны, так что видимая форма их освещенной поверхности должна проходить от серпа через четверть к полнолунию и затем обратно от полнолуния к фигуре серпа. И в том, что у Венеры не наблюдается подобных фаз, надо было, как утверждали тогда, видеть опровержение учений Коперника.

Но телескоп Галилея обнаруживает теперь, что Венера, как предсказывал Коперник, действительно проходит через последовательность фаз, так что, говоря словами Галилея, «теперь получено доказательство самое убедительное и вызывающее к очевидности наших чувств» в том, что «Венера, а также Меркурий, обращаются вокруг Солнца и что таким же оказывается движение остальных планет — истина, в которую верили пифагорейская школа и Коперник и Кеплер, но которая никогда не была доказана с очевидностью непосредственного наблюдения, как это доказано теперь для Венеры и для Меркурия».

Эти открытия Галилея показали, что Аристотель, Птоломей и большинство тех, кто размышлял об этих предметах за последние 2000 лет, — все заблуждались безнадежно и глубоко. Определяя свое положение во вселенной, человек до сих пор руководствовался преимущественно своими собственными желаниями и высоким мнением о самом себе; впитав в себя беспредельные надежды, он свернул с того скромного пути, которым могла вести его терпеливая научная мысль. Неумолимые факты свергли его теперь с того трона, который он строил себе в центре вселенной; отныне он должен примириться с положением обитателя пылинки среди миров и к этому положению приспособить свои взгляды на смысл человеческой жизни вообще.

Это приспособление было достигнуто не сразу. Человеческое тщеславие, поддержанное авторитетом церкви, научилось прокладывать тернистые пути перед всеми, кто решался доказывать, что Земля не занимает центрального положения во вселенной. Галилей был принужден отречься от своих выводов. И еще вплоть до XVIII века Парижский университет учил, что движение Земли вокруг Солнца является удобной, но ложной гипотезой. в то время, как в более молодых американских университетах, в Гарварде и в Йель, птолемея и коперниканская системы астрономии преподавались одновременно, как

будто бы они обе были одинаково приемлемы. Однако люди не могли навсегда запрятать свои головы в песок, и переворот нашего знания, начало которому положил Галилей в вечер 7 января 1610 года, — как только было принято полностью все то, что из него вытекало, — оказался одним из глубочайших моментов в истории человеческого рода. И эта катастрофа коснулась не только областей отвлеченного мышления; с этого момента самое существование человека должно было представляться в ином освещении, а задачи и устремления человечества надлежало рассматривать уже с иных точек зрения.

Этот рассказ, так много раз повторенный, приведен здесь в надежде на то, что он хоть отчасти объяснит тот интерес к астрономии, который наблюдается в наши дни. Науки более житейские доказывают свою значимость увеличением наших удобств и жизненных благ, облегчением страданий или болей; но, правда, можно спросить: чем же вознаградит нас изучение астрономии? Во имя чего современный астроном проводит напряженные ночи и еще более напряженные дни, работая над проблемами строения, движения и изменений небесных тел, столь удаленных, что они вовсе не могут влиять на человеческую жизнь?

Ответ на это отчасти должен быть, повидимому, в том, что в наши дни, как и в дни Галилея, многие начинают подозревать, что астрономия может сказать свое слово в волнующем вопросе об отношении человеческой жизни ко вселенной, в которую она заключена, о началах, значении и судьбах человеческого рода. Двенадцать веков тому назад Бэда Досточтимый в поэтическом сравнении уподоблял человеческую жизнь полету птицы через теплый зал, в котором люди пируют, в то время как снаружи бушует зима:

«Птица укрывается от бури на короткое мгновение, и немедленно она из холода попадает в холод опять. Так и человеческая жизнь появляется на один миг, но о том, что было до нее, и о том, что будет за ней, мы не знаем ничего. И поэтому, если новое учение открывает

нам нечто достоверное, оно заслуживает повидимому, чтобы мы приняли его».

Эти слова, сказанные первоначально с иною целью, выражают, пожалуй, в чем главный интерес астрономии в наши дни. Человек,

От темноты к темноте
Зная лишь жизни узкий просвет,

жаждет глубже проникнуть в прошлое и в будущее, чем это позволяет его короткое бытие на земле. Он хочет видеть вселенную, какой она существовала прежде чем был человек и какой она будет после того, как последний человек уйдет в ту тень, из которой вышел его род. И это желание имеет свои корни не только в чистой любознательности, в жажде перебросить взгляд через ближайший горный хребет, в жажде достигнуть вершин, с которых раскроется широкий кругозор — хотя бы на те роскошные долины, вступить на которые он не сможет никогда; это желание имеет более глубокую основу и более человеческий интерес. Прежде чем человек сможет познать самого себя, он должен познать вселенную, из которой он черпает все восприятия своих чувств. Он стремится исследовать вселенную в пространстве и во времени, ибо он является частью ее и она есть часть его самого.

Мы можем, разумеется, допустить, что наука в наше время не в силах установить ничего окончательного относительно человеческого бытия и человеческих судеб; но это не может быть оправданием того, чтобы и вовсе не изучать то лучшее, что она может дать. И вообще крайне редко наука может ответить решительным «да» или «нет» на предложенный ей вопрос. Всякий раз, как мы в состоянии поставить вопрос в форме столь определенной, что на него может последовать подобный ответ, мы обычно уже и сами, без помощи науки, сумеем его дать. Но движение науки представляет собой в сущности ряд последовательных приближений к истине, из которых каждое является более точным, чем предыдущие, и вместе с тем

само допускает еще бесконечный ряд дальнейших уточнений. На вопрос: «где место человека во вселенной» — первая попытка ответа (по крайней мере за последние тысячелетия) была дана астрономией Птолемея: «место его в центре вселенной». Телескоп Галилея доставил следующее и несравненно лучшее приближение: «место человека только на немногих малых небесных телах, вращающихся вокруг огромного Солнца». Астрономия XIX века дала маятнику еще больший размах в том же направлении; она утверждала: «на небе имеются миллионы звезд, из которых каждая подобна нашему Солнцу и без сомнения так же как Солнце окружена семьей планет, на которых жизнь может поддерживаться светом и теплом, получаемыми от их Солнца». Астрономия XX века, как мы увидим, внушает мысль, что в XIX веке маятник отклонился слишком далеко: жизнь представляется нам гораздо большей редкостью, чем полагали наши отцы или чем они стали бы думать, если бы они дали полный простор своим мыслям.

Мы приступаем теперь к изложению того приближения к истине, каким является астрономия XX века. Очевидно это не есть еще последняя истина, но она есть шаг в направлении к ней, и — если только мы не ошибаемся очень сильно — она существенно ближе к правде, чем учение астрономов XIX века. И она претендует на это приближение к действительности не потому, что астроном XX столетия считает себя более догадливым, чем его предшественники в XIX веке, но потому, что в его распоряжении имеется значительно большее число фактов. Вообще всякие догадки вышли теперь из моды; они были в лучшем случае бледными суррогатами знания, и современная наука, устраняя их сурово, ограничивается (быть может за очень редкими исключениями) установлением фактов и тех заключений, которые вытекают из них, насколько можно судить, с непреложной необходимостью.

Конечно, было бы неосновательно предполагать, что весь интерес к астрономии сосредоточен лишь вокруг

только что затронутых вопросов. Этот интерес развивается еще по трем направлениям, которые можно обозначить как утилитарное, научное и эстетическое.

Первоначально изучением астрономии занимались преимущественно в целях практических. Она доставляла меру времени, она позволяла человечеству точно отмечать моменты в вечном беге времен года; она учила его, как находить путь в бездорожной пустыни, а затем и в бездорожном океане. Под личиной астрологии она порождала надежду на возможность предсказания будущих событий. И по существу в этом не было ничего абсурдного, так как и в наши дни астроном занят в значительной мере предсказанием будущих движений небесных тел, и некоторая часть этой книги будет посвящена попытке объяснить будущее материальной вселенной. Заблуждение астрологов состояло в том, что они считали все царства земные и жизнь царей и отдельных людей за столь важные факты в строе вселенной, что с их судьбами можно было сочетать движения небесных тел. Но как только человек начал постигать, хотя бы еще и неотчетливо, свою собственную ничтожность во вселенной, астрология умерла естественной и неотвратимой смертью.

В настоящее время утилитарный подход к астрономии сократился до узких пределов. Правда, государственные обсерватории передают по радио сигналы времени и этим помогают вести корабли по океану; но центр астрономических интересов переместился так основательно, что самые отдаленные туманности вызывают гораздо больший энтузиазм, чем «часовые звезды», и в общем современная астрономия уделяет, пожалуй, гораздо больше внимания звездам, столь далеким, что свет от них идет к нам сотни, тысячи или даже миллионы лет, чем нашим ближайшим соседям в пространстве — планетам.

В недавнее время научный интерес к астрономии возрос еще в силу того, что она утвердила свое значение как неотделимая часть общего строя наук. Отдельные науки

уже невозможно рассматривать теперь как несвязанные друг с другом учения; научные открытия и исследования движутся единым фронтом, который тянется непрерывно от электронов, размером не свыше миллионной доли миллионной миллиметра, до туманностей, диаметры которых измеряются сотнями тысяч миллионов миллионов километров. Всякое расширение наших астрономических знаний может дать толчок к развитию наших знаний в физике и в химии, и обратно. Уже давно на звезды перестали смотреть как на простые светящиеся точки; мы видим теперь в каждой из них как бы эксперимент в титаническом масштабе, как бы тигель для высоких температур; сама природа орудует в нем при температурах и давлениях, оставляющих далеко за собой все те, которыми мы располагаем в лабораториях, и дает нам возможность наблюдать результат; при этом мы можем встретиться с такими свойствами материи, которые ускользают от физика на земле в виду незначительности шкалы физических состояний, которыми он может располагать. Так например, в туманностях материя может существовать при плотностях по крайней мере в миллион раз меньших, чем все доступные нам на земле; в некоторых звездах она, напротив, в миллион раз плотнее. Как же можем мы надеяться постигнуть все свойства вещества из лабораторных опытов, в которых нам может быть дана только одна часть на миллион миллионов частей шкалы плотностей, имеющихся в природе?

Однако на каждого человека, который ощущает в себе этот научный призыв астрономии, имеется, вероятно, десяток других, которых притягивает ее эстетическая сторона. И даже многие из числа тех, которые ищут знания ради знания, — увлекаемые той любознательностью, которая составляет существенное их отличие от зверей, — даже они идут к астрономии как к науке, дающей наибольшее эстетическое удовлетворение среди всех других...

Прежде чем перейти к описанию того, чего достиг

современный астроном в изучении неба, мы попробуем в должной перспективе осмотреть ту платформу, с которой он производит свои наблюдения.

Мы увидим в дальнейшем, как Земля родилась из недр Солнца, приблизительно два миллиарда лет тому назад. В той форме, в которой она произошла на свет, нам было бы трудно узнать ту твердую Землю, какой мы ее знаем теперь, с ее морями и реками, с ее богатой растительностью и кипучей жизнью. Наш мир начал свое бытие как шар чрезвычайно горячего газа, на котором никакая форма жизни не могла ни найти себе опоры, ни ее удержать.

Но постепенно этот газовый шар охлаждается, становится сперва жидким, затем пластичным. Наконец его внешняя кора затвердевает, скалы и горы образуют неизменный уже след неправильностей ее прежней пластичной формы. Пары конденсируются, появляются реки и океаны, атмосфера образуется из «постоянных»[⊗] газов. Постепенно на Земле создаются условия, благоприятные для возникновения жизни и наконец она появляется — неизвестно пока, ни откуда, ни как.

Определить, сколько времени жизнь существует на Земле, нелегко; но это не более чем ничтожная часть тех двух миллиардов лет, которыми измеряется возраст Земли; можно считать, что жизнь была на Земле, вероятно, уже 300 миллионов лет тому назад. Первично она существовала повидимому лишь в ее водных формах; но постепенно рыбы превращались в пресмыкающихся, пресмыкающиеся в млекопитающих, и в конце концов из млекопитающих появился человек. Факты говорят за то, что это произошло 300 000 лет тому назад. Таким образом, жизнь существовала на Земле только в течение части ее бытия, а человек — лишь за время незначительной части от этой части жизни Земли. Говоря иными словами, астро-

⊗ Старое название газов, считавшихся нежигаемыми.

номический масштаб времен несравненно шире, чем человеческий масштаб; поколения людей и даже существование человеческого рода в его целом, все это только тиканье астрономических часов.

Из тех 10 000 поколений людей, которые связывают нас с нашими обезьяноподобными предками, большинство должно было прожить жизнь, которая немногим отличалась от жизни их предшественников-зверей. Охота, рыболовство, война — вот что наполняло их жизнь, оставляя мало времени и возможностей для размышлений. Но вот наконец человек начинает пробуждаться от его долгой умственной дремоты, и на медленной заре культур он начинает ощущать необходимость не только в том, чтобы питать и одевать свое тело, но и в чем-то ином. Он начинает переживать откровения бесконечной красоты в изяществе форм человеческого тела или в игре света на бесчисленных улыбках морской волны; он стремится запечатлеть их в тонко исполненных мраморных изваяниях, в созвучиях дивно подобранных слов. Он начинает производить опыты над металлами и над травами и изучать свойства огня и воды. Он наблюдает и пытается распознать движения небесных тел; ибо всем, кто мог читать написанное в небесах, восходы и заходы звезд и планет в ночные часы давали понять, что целая вселенная, неизведанная в ее величии, лежит за пределами Земли.

Так возникли науки и искусства на Земле, и астрономия появилась среди них. Мы не можем точно сказать, когда это было, но в сравнении с возрастом людского рода все это произошло как бы вчера, а по сравнению со всей жизнью Земли их возраст — все равно, что мгновение ока.

Научная астрономия, поскольку она отлична от простого созерцания созвездий и звезд, едва ли может считать за собой возраст больший 3000 лет. Ибо еще меньше времени прошло с тех пор, как Пифагор, Аристарх и другие познали, что Земля обращается вокруг неподвижного

Солнца. Но здесь для нас имеет значение не столько период, протекший от той поры, когда люди стали высказывать свои первые догадки о строении вселенной, как время, прошедшее с тех пор, когда они с помощью твердо установленных фактов начали распутывать ее действительный строй. Для нас важен сейчас интервал, протекший с того вечера в 1610 г., когда Галилей впервые направил свой телескоп на Юпитер, т. е. примерно всего лишь около трех веков.

Нам станет понятен истинный смысл этих округленных оценок различных эпох, если мы выпишем их снова в виде таблицы. Мы имеем:

Возраст Земли	около 2 000 000 000 лет	
Возраст жизни на Земле	» 300 000 000 »	
Возраст человека на Земле	» 300 000 »	
Возраст астрономической науки	» 3 000 »	
Возраст телескопической астрономии	» 300 »	

Сопоставляя все числа, написанные одно под другим, мы видим отчетливо, что астрономия представляет собой явление последних дней. В течение 99 999 частей на 100 000 частей его бытия, все живое на Земле не интересовалось ничем, что лежит за пределами Земли. Но если прошлое астрономии измеряется в человеческом масштабе времен, насчитывая за собой около ста поколений, то имеется полное основание полагать, что для измерения ее будущего потребуется уже астрономический масштаб времен. В одной из дальнейших глав мы коснемся тех судеб, которые, как можно думать, стоят перед Землей. Теперь же нам естественно только предположить, что это будущее будет пресечено явлениями астрономического порядка, так что его продолжительность надо оценивать именно в астрономическом масштабе времен. Так как Земля существует уже около двух миллиардов лет, то *a priori* есть разумное основание допустить, что она будет существовать по меньшей мере грядущие два миллиарда лет и что человечество и астрономия будут существовать вместе с ней. Но

если только мы согласимся с тем, что будущая жизнь астрономии измеряется в астрономической шкале, то, не входя вовсе в какой-либо точный подсчет, мы видим, что сейчас астрономия все еще стоит перед самым началом своего существования. Поэтому от ее учений нельзя еще требовать совершенной законченности: мы описываем не убеждения зрелого человека, а скорее впечатления младенца, который только-только раскрывает глаза. Но и в таком виде эти учения выше, чем те несвязные и изнутри почерпнутые мечтания, которыми он развлекался, прежде чем научиться смотреть вокруг и вдаль от себя.

Итак мы приступаем к изложению того, что может сообщить нам астрономия о вселенной, в которой протекает наша жизнь. Но наше исследование не ограничится одной лишь этой областью науки. Нам придется обращаться и к физике, и к химии, и к геологии, а также к более тесно примыкающим наукам — к астрофизике и космогонии, с тем, чтобы все они, где возможно, оказали нам помощь в истолковании данных наблюдательной астрономии. Сведения, которые, мы почерпнем, будут отрывочны и, если вообще возможно сравнение, они будут напоминать части тех загадочных картин, которые в распространенной игре распиливают на множество мелких и прихотливо очерченных кусков. Если бы все эти части были в наших руках, мы могли бы составить из них единую и осмысленную картину; в этом мы убеждены; но мы знаем, что многих кусков нам еще недостает. Надеяться на то, что даже по этим разрозненным частям нам удастся раскрыть смысл всей картины, очевидно, нельзя; но мы можем по крайней мере собрать эти куски воедино, расположить их в некотором методическом порядке, приладить друг к другу те части, смежность которых в картине несомненна, и затем, быть может, решиться составить себе представление о том, какой окажется законченная картина в целом, когда все ее части будут найдены и окончательно собраны воедино.

ГЛАВА ПЕРВАЯ.

ИССЛЕДУЕМ НЕБО.



Мы уже видели, как человек, после того как его род просуществовал на Земле 300 000 лет, за последние 300 лет, т. е. за одну тысячную часть жизни его рода на Земле, получил в свое распоряжение оптические инструменты для изучения внешней вселенной. В этой главе мы попытаемся описать те впечатления, которые создались перед его только что раскрывшимися глазами. Это описание будет следовать в общем хронологическому порядку вещей; но этот же порядок соответствует все большему увеличению силы телескопов или, что то же самое, возможности проникать все дальше и дальше в глубины пространства.

Таким образом порядок нашего изложения должен отображать постепенное увеличение расстояний в науке о небесных светилах. Мы не имеем в виду дать здесь подробный перечень открытий, но остановимся только на некоторых важнейших этапах, с тем чтобы в общем очерке показать, в какой последовательности человек завоевывал и закреплял территорию при обзоре вселенной.

СОЛНЕЧНАЯ СИСТЕМА.

Нашим первым этапом или, лучше сказать, нашей отправной точкой будет разгадка строения солнечной системы, данная еще Галилеем и его продолжателями.

Семья планет, окружающих Солнце, естественно распадается на две отдельные группы. Вблизи Солнца находятся четыре небольшие планеты: Меркурий, Венера,

Земля и Марс. На значительно больших расстояниях находятся четыре крупные планеты: Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун. За ними имеется еще недавно открытый Плутон, самый далекий член солнечной системы.

Ближайшая к Солнцу планета — Меркурий; за ним идет Венера; орбиты обеих этих планет лежат между Солнцем и орбитой Земли. При наблюдении с Земли представляется, что эти планеты описывают сравнительно небольшие круги с центром в Солнце; поэтому они необходимо должны быть видимы на небе вблизи Солнца; отсюда происходит, что мы можем наблюдать их либо рано поутру, в тех случаях, когда их восходы приходится перед восходом Солнца, или же вечером, если они заходят после его захода. Древние, не отдавая еще себе ясного отчета в том, что одни и те же планеты могут быть видимы и как вечерние и как утренние светила, называли их разными именами в этих различных явлениях. Так Венера, как утренняя звезда, называлась «Фосфорос» у греков и «Люцифер» у римлян; как вечерняя звезда, она была известна у тех и других под названием «Геспер» или «Веспер».

Удаляясь от Солнца еще дальше в пространство, мы после Земли встречаем Марс; на нем замыкается группа «меньших планет». Марс, Венера и Меркурий по размерам меньше Земли, впрочем Венера меньше ее только на очень немного.

Между орбитой Марса, самой внешней из меньших планет, и орбитой Юпитера, самой внутренней из больших, имеется широкий промежуток. Но он не пустой: его заполняют орбиты тысяч крошечных планет, называемых астероидами. Ни одна из них по величине не может сравниться с Землей; самая крупная, Церера, имеет в диаметре всего 770 км; известно лишь четыре астероида с диаметрами, превосходящими 150 км. Планеты Меркурий, Венера и Марс были известны с глубочайшей древности; появление же астероидов в астрономии относится

к XIX веку; первый, он же самый крупный из них, Церера, был открыт Пиацци 1 января 1801 г.

За астероидами идут четыре большие планеты: Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун. Все они значительно крупнее Земли. Диаметр Юпитера, самой большой из всех планет, равен, по Сэмпсону, 142 650 км; он больше чем в 11 раз превосходит диаметр Земли; 1400 тел объемом с Землю могли бы уместиться внутри Юпитера, оставив еще пустое место. Следующая по порядку планета, Сатурн, уступает по размерам одному лишь Юпитеру; ее диаметр равен приблизительно 112 600 км. Обе эти планеты значительно больше остальных.

Диаметры Урана и Нептуна в четыре раза больше диаметра Земли; следовательно их объем превышает объем Земли в 64 раза.

Размеры Плутона еще не определены с точностью, но он едва ли больше Земли и вероятно даже значительно меньше ее.

Юпитер и Сатурн являются столь яркими объектами на небе, что они, естественно, были известны с глубочайшей древности; но Уран и Нептун открыты сравнительно недавно. В 1781 г. Вильям Гершель, наблюдая в телескоп с единственной целью обнаружить на небе что-либо интересное, совершенно случайно открыл планету Уран. Напротив того, открытие Нептуна в 1846 г. явилось следствием сложных математических вычислений; и многим современникам это открытие казалось одним из величайших триумфов человеческой мысли, во всяком случае со времен Ньютона. Это был триумф молодости. Честь открытия Нептуна почти в равной мере принадлежит молодому англичанину Джону Коуч Адамсу (ему было тогда 27 лет; впоследствии он был профессором астрономии в Кембриджском университете) и французскому астроному Урбану Леверрье, который был только на восемь лет старше Адамса. Оба они исходили из некоторых неправильностей, наблюдавшихся в движении Урана, и приписывали их

притягательному действию на него внешней планеты; они приступили к вычислениям, поставив своей задачей определить орбиту, по которой должна двигаться эта предполагаемая внешняя планета, чтобы вызвать в движении Урана обнаруженные неправильности.

Адамс закончил свою работу первым и сообщил наблюдателям Кембриджской обсерватории, в какой области неба должна находиться предполагаемая планета. В результате этого Нептуна дважды пронаблюдали в Кембридже, хотя и не отождествили его немедленно с новой планетой. Но прежде чем в Кембридже успели произвести это отождествление, Леверрье закончил свои вычисления и сообщил результаты Галле, ассистенту Берлинской обсерватории; здесь удалось отождествить новую планету в первую же ночь наблюдений, так как на Берлинской обсерватории имелись тогда лучшие звездные карты той области неба, где искали планету, чем карты, которые имелись в Кембридже.

Однако постепенно стало выясняться, что гравитационное действие Нептуна недостаточно для объяснения всех неправильностей в движении Урана; к тому же подобные неправильности начали обнаруживаться и в движении самого Нептуна. Все это указывало на существование еще одной планеты, более удаленной от Солнца, чем Нептун. И подобно тому, как Адамс и Леверрье поступили в предыдущем случае, так и теперь д-р Персиваль Лоуэлль, из Флагстафф-обсерватории в Аризоне, вычислил ту орбиту, по которой должна двигаться предполагаемая новая планета — «Планета X»; однако только очень недавно, в марте 1930 г., после долгих лет тщательных поисков, наблюдателям Флагстафф-обсерватории удалось открыть новую планету — Плутона, как ее называли затем, — движущуюся почти в точности по той орбите, которую Лоуэлль определил 15 лет тому назад.

Еще в 1772 г. Боде обнаружил простое численное соотношение, связывающее расстояние планет от Солнца.

Это соотношение можно получить следующим образом: напишем числа

0 1 2 4 8 16 32 64 128 256.

Каждое из них (кроме 0 и 1) в два раза больше предыдущего. Умножая все эти числа на 3, получаем:

0 3 6 12 24 48 96 192 384 768.

Прибавляя к ним по 4, имеем:

4 7 10 16 28 52 100 196 388 772.

Полученный ряд чисел с большим приближением соответствует действительным расстояниям планет от Солнца; принимая расстояние до Земли за 10, они равны:

Меркурий . . .	3,9	Юпитер . . .	52,0
Венера . . .	7,2	Сатурн . . .	95,4
Земля . . .	10,0	Уран . . .	191,9
Марс . . .	15,2	Нептун . . .	300,7
Астероиды . . .	26,5	Плутон . . .	400

Этот закон был высказан до открытия Урана и астероидов, и довольно удивительно, что при открытии их они встали так близко к местам, назначенным им в ряде Бодэ. Но, с другой стороны, закон этот дает совершенно неправильные расстояния для Нептуна и для открытого теперь Плутона; по существу он ошибочен также и для Меркурия, так как основной ряд чисел 0, 1, 2, 4... имеет искусственное начало. Математически правильный ряд был бы: $\frac{1}{2}$, 1, 2, 4...; в нем каждое последующее число вдвое больше предыдущего; но тогда для Меркурия получилось бы расстояние $5\frac{1}{2}$, тогда как в действительности оно равно 3,9. До сих пор закону Бодэ не дано никакого объяснения, и можно считать весьма вероятным, что им выражается лишь случайное совпадение, не имеющее за собой никакого рационального обоснования.

Внешние планеты находятся на огромных расстояниях от Солнца. Обитатель Плутона, — если бы таковой существовал, — получал бы в 1600 раз меньше солнечного света и тепла, чем получает обитатель Земли. Можно

вычислить, что если бы поверхность Плутона нагревалась только солнечным теплом, то она имела бы действительно чрезвычайно низкую температуру, около -230° .

Телескоп собирает не только видимые, но и тепловые лучи. Теплособирательная сила большого телескопа огромна; однако для измерения этого тепла у нас имеются теперь и специальные, весьма чувствительные инструменты. Считается, что 100-дюймовый рефлектор на Моунт-Вильсоне в состоянии обнаружить тепло, получаемое от одной свечи на берегах Миссисипи, т. е. с расстояния в 3000 км. Эта поразительная чувствительность позволила измерить непосредственно ничтожное количество тепла, получаемого нами от отдельных звезд и планет, и определить отсюда температуру их поверхностей. По последним измерениям температура поверхности Юпитера равна приблизительно -150° , и это почти в точности соответствует той температуре, которую может поддерживать на планете одна лишь солнечная теплота. С другой стороны в результате аналогичных измерений для Сатурна и для Урана были получены температуры в -150° и -170° ; обе они несколько выше тех, которых можно было ожидать в предположении, что единственным источником тепла является здесь солнечное излучение. Во всяком случае есть основания полагать, что все источники внутренней теплоты должны быть очень незначительны, так что все большие планеты должны быть чрезвычайно холодными. На их поверхности не может быть ни рек, ни морей, так как вся вода на них должна замерзнуть, и в атмосферах этих планет не может быть ни дождей, ни водяных паров. Что касается тех облаков, которые застилают от нас поверхность Юпитера, то в них предполагали конденсированные частицы двуокиси углерода или какого-либо другого газа, у которого температура кипения гораздо ниже температуры замерзания воды.

Физические условия на близких к Солнцу планетах гораздо более схожи с теми, с которыми мы свыклись

на Земле. Марс, в виду большего его расстояния от Солнца, холоднее Земли, но не на очень много. Сутки длятся на нем 24 часа 37 минут; они только на полчаса длиннее, чем у нас; поэтому смена дневного тепла и ночных холодов происходит здесь в условиях, близких к земным. В экваториальных областях к полудню температура поднимается выше нуля, достигая $+10^{\circ}$, быть может и несколько больше. Однако к заходу солнца она и здесь падает ниже нуля, и вплоть до следующих дневных часов здесь должен стоять сильный мороз. В полярных областях, разумеется, еще холоднее: температура снежных шапок, которыми покрыты полюса Марса, должна быть около -70° .

У Венеры, которая ближе к Солнцу, температура должна быть в среднем выше земной. Но так как каждый день и каждая ночь на Венере продолжаются несколько земных дней, то разница между дневной и ночной температурой должна быть здесь значительно больше, чем у нас; поэтому поверхность Венеры от ее ночи к дню проходит через крайние пределы холода и тепла. В среднем ночная температура повидимому достаточно постоянна и равна приблизительно -25° . В каждой точке на поверхности планеты недели этих трескучих ночных морозов сменяются неделями дневной жары.

Меркурий так близок к Солнцу, что его средняя температура, конечно, гораздо выше земной. Он отражает только незначительную часть — всего около одной четырнадцатой — света и тепла, получаемых им от Солнца. Все остальное идет на нагревание его поверхности. По многим соображениям представляется вероятным, что планета всегда обращена одной стороной к Солнцу, подобно тому, как Луна всегда обращена одной стороной к Земле. Если так, то ненагреваемая половина его поверхности должна быть чрезвычайно холодна, а нагреваемая — весьма горяча. Можно вычислить, что в этом предположении нагреваемая половина должна была бы

иметь температуру около $+350^{\circ}$; между тем, если бы эта планета находилась в состоянии сравнительно быстрого вращения, то вся ее поверхность обладала бы одной и той же температурой, порядка всего лишь 170° . Недавно Петтиту и Никольсону удалось измерить количество тепла, получаемого Землей от нагреваемой поверхности Меркурия, и определить отсюда, что его температура равна приблизительно 350° ; этим подтверждено, что Меркурий обращен всегда одной стороной к Солнцу. Таким образом его теплое полушарие имеет температуру, при которой плавится свинец; на другом полушарии, погруженном в вечную тьму, холод превосходит, вероятно, все, что мы в состоянии вообразить.

После открытия Галилеем четырех спутников Юпитера с течением времени было установлено, что спутники имеются у каждой из планет, кроме тех двух, орбиты которых лежат внутри орбиты Земли. В 1655 году Гюйгенс открыл Титана, крупнейшего из спутников Сатурна; в 1684 году Кассини открыл еще четырех. Затем по прошествии целого столетия Вильям Гершель открыл в 1787 г. двух спутников Урана и в 1789 г. еще двух спутников Сатурна.

Мы будем говорить более подробно о системах планетных спутников, а также о мелких телах солнечной системы — кометах и метеорах — в одной из следующих глав, когда мы перейдем к изучению вопроса о происхождении этих тел.

ГАЛАКТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА.

Нашим следующим этапом является тот обзор звездного мира, который был произведен обоими Гершелями — Вильямом Гершелем (1738—1822) и Джоном Гершелем, его сыном (1792—1871).

Ту работу, которую Галилей провел для солнечной системы, оба Гершеля предприняли в отношении огром-

ного семейства звезд, в состав которого входит и наше Солнце, именно так называемой «галактической системы», ограниченной Млечным Путем.

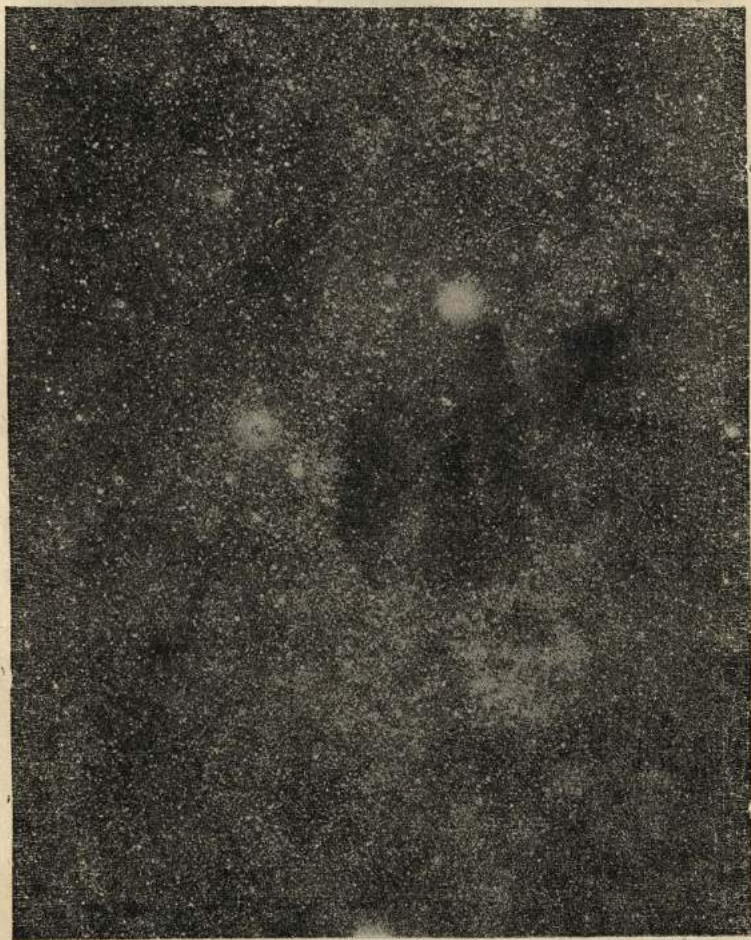
В ясную безлунную ночь мы видим, как Млечный Путь простирается от одного края горизонта до другого, подобно огромному, слабо светящемуся своду. Но оказывается, что этот видимый свод есть только часть полного светящегося круга (называемого галактическим кругом), который полностью огибает Землю и разделяет небо на две равные половины, образуя нечто вроде небесного «экватора», по отношению к которому астрономы определяют положения светил на небесной сфере. Уже Галилей обнаружил в свой телескоп, что Млечный Путь состоит из множества слабых звезд, из которых каждая слишком слаба для того, чтобы ее можно было видеть в отдельности невооруженным глазом (табл. I); как и можно было ожидать, правильное объяснение строения этого огромного пояса слабых звезд получило первостепенное значение для понимания архитектуры вселенной.

Если бы звезды были равномерно рассеяны в беспредельном пространстве, то в каком бы направлении мы ни смотрели на небо, мы всегда должны были бы попасть на звезду; поэтому небо казалось бы нам светящимся везде одинаковым, нестерпимым блеском. Правда, этого не было бы, если бы свет погашался или ослабевал, пройдя определенное расстояние; но вид неба был бы и тогда одинаков по всем направлениям, так как не было бы никаких оснований к тому, чтобы какая-либо область неба была более богато усеяна звездами, чем другая. Таким образом существование Млечного Пути обнаруживает, что звездная система не может равномерно простираться до бесконечности; она должна иметь определенную архитектуру, и Вильям Гершель начал работу над выяснением ее форм. То, что он сделал для северного полушария, было впоследствии продолжено для южного неба его сыном Джоном Гершелем.

Нам будет легче уяснить себе метод, который применяли оба Гершеля, если мы начнем с допущения, что все звезды являются сами по себе совершенно тождественными объектами. В этом предположении звезды должны испускать одинаковое количество света; ближайшие звезды казались бы нам более яркими, а далекие — более слабыми, и все это было бы следствием одной лишь разницы в их расстояниях. Всем известен тот закон, по которому яркость падает с увеличением расстояния: это закон «обратной пропорциональности квадрату расстояний»; в силу его видимая яркость источника света ослабевает в той именно мере, в какой возрастает квадрат расстояния до него; звезда, удаленная от нас вдвое сравнительно с другой подобной ей звездой, должна казаться в четыре раза менее яркой и т. д. Таким образом, если бы все звезды обладали одинаковой силой света, мы могли бы оценить относительные расстояния любых двух звезд, исходя из их видимых яркостей. Затем, нарезав кусочки проволоки, пропорциональные расстояниям до различных звезд, и укрепив их в направлениях соответствующих звезд, мы могли бы построить модель распределения звезд в пространстве. В этом случае у нас получилось бы полное представление о строении звездной системы, разумеется, помимо лишь масштаба нашей модели. Чтобы представить в этой модели слабые звезды Млечного Пути, нам нужно было бы иметь большое количество очень длинных проволок. В нашей модели все эти проволоки были бы направлены к различным частям Млечного Пути, образуя плоскую фигуру, вроде колеса.

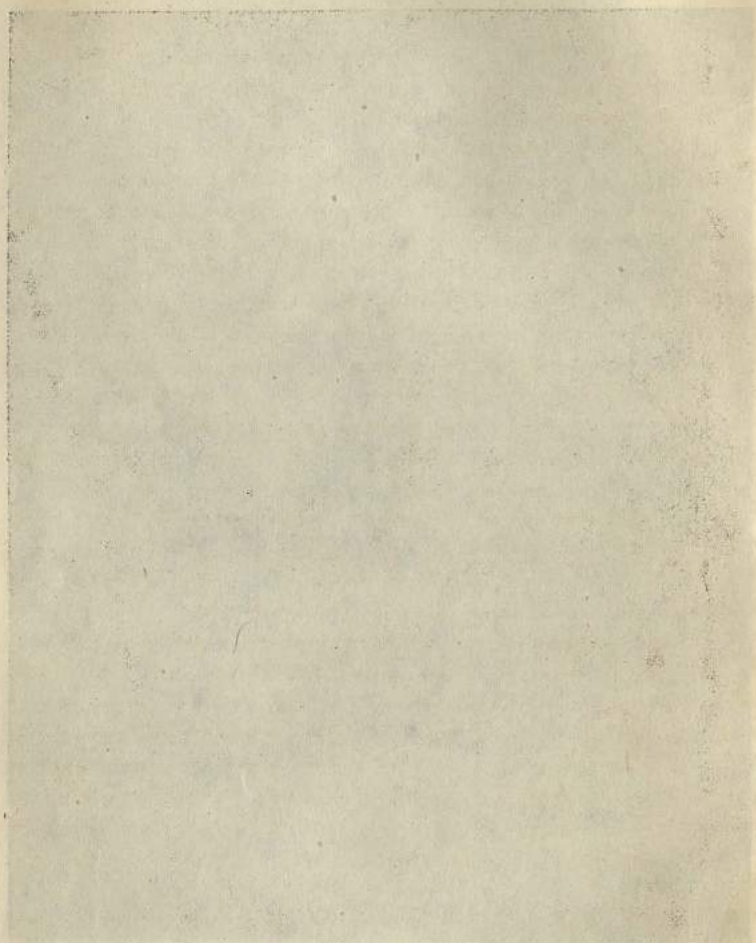
Однако проблема, к которой подошел Вильям Гершель, была иного порядка трудности: он знал, что звезды обладают различной действительной яркостью, т. е. светят отнюдь не с одинаковой силой света, и притом находятся на различных от нас расстояниях; оба эти условия — неодинаковая действительная яркость и различные расстояния, комбинируясь между собой, производят то

ТАБЛИЦА I.



Карта Франклин-Адамса.

Млечный путь в созвездии Южного Креста.



RECEIVED BY THE DIRECTOR OF THE BUREAU OF THE CENSUS
JANUARY 10 1890

различие в видимых яркостях звезд, которое мы наблюдаем. Одна из основных трудностей астрономии (и не только для Гершелей, но и в наши дни) состоит именно в том, что оба эти момента должны быть распутаны и разделены, ибо только после этого можно подойти к решению поставленной задачи.

Гершель нашел, что число звезд, видимых в поле зрения его телескопа, изменялось весьма значительно в разных направлениях. Разумеется, оно было наибольшим, когда телескоп был направлен на Млечный Путь, и оно быстро и непрерывно падало по мере удаления телескопа от Млечного Пути. Вообще говоря, в тех случаях, когда труба направлялась в области неба, одинаково удаленные от Млечного Пути, в ее поле зрения попадало приблизительно одинаковое число звезд. На более техническом языке астрономии мы можем сказать, что богатство звездных полей зависело преимущественно от их расстояния от плоскости галактики, или, как говорят, от их галактической широты — подобно тому, как климат различных областей на Земле зависит преимущественно от их географической широты и только в незначительной мере от их долготы.

При сравнении полей в различных удалениях от Млечного Пути обнаружилось, что они отличаются и качественно и количественно, т. е. в отношении числа звезд: но при этом число самых ярких звезд было приблизительно одинаковым во всех полях; разница между ними получалась преимущественно за счет слабых, и в особенности наиболее слабых звезд, число которых возрастало с необычайной быстротой при приближении к Млечному Пути.

Вильям Гершель правильно объяснил это явление как следствие того, что система звезд, окружающих Солнце, начинает редеть уже в пределах расстояний, доступных его телескопу; при этом разрежение ее в направлениях, удаленных от Млечного Пути, начинается

раньше, чем в остальных. Он предположил, что звездная система в ее общих очертаниях подобна лепешке, или бисквиту, или карманным часам; при этом наибольшее ступение звезд приходится в центре системы, во внешних же ее областях они встречаются относительно редко. Плоскость Млечного Пути естественно является центральной плоскостью всего этого образования. То обстоятельство, что Млечный Путь разделяет небо на две приблизительно равные части, дало Гершелю основание заключить, что Солнце должно находиться почти в самой центральной плоскости, как это подтверждено в наши дни очень тонкими исследованиями Сирса, ван-Райна и других. Из того факта, что области неба, равно удаленные от Млечного Пути, кажутся нам в общем приблизительно одинаково яркими, Гершель вывел, что Солнце находится не только в центральной плоскости системы, но и вблизи самого ее центра.

Этот взгляд господствовал в науке до самого последнего времени; но исследования Шэпли и других обнаружили теперь, что это едва ли соответствует действительности.

На рис. 1 изображена в поперечном разрезе общая схема галактической системы, какой ее представлял себе Вильям Гершель; но детали распределения звезд в этой диаграмме по различным направлениям и в разных расстояниях соответствуют гораздо более поздним данным Каптейна (1922). Нетрудно показать, каким образом, исходя из подобного строения системы, можно объяснить видимую нам картину неба. Те звезды, которые кажутся нам наиболее яркими, суть, вообще говоря, и наиболее близкие; они настолько близки, что на таком расстоянии еще не может быть заметно сжатие звездной системы. По этой причине число самых ярких звезд оказывается приблизительно одинаковым по всем направлениям. Звезды, которые кажутся нам очень слабыми, являются вместе с тем и очень далекими — настолько далекими, что в отноше-

нии их начинает действовать большая глубина системы в плоскости галактики и смежных с ней областях. В этих направлениях мы встречаем последовательные слои звезд, идущие почти бесконечным строем один за другим; и этим объясняется видимая концентрация слабых звезд, которую мы называем Млечным Путем.

Окончательным утверждением коперниканской теории строения солнечной системы мы существенно обязаны открытию Галилеем аналогичной системы Юпитера; оказалось, что она так расположена в пространстве, что

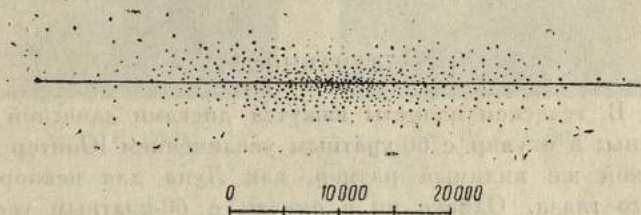


Рис. 1. Строение галактической системы по Гершелю и Кантеину (шкала в световых годах).

земной наблюдатель может увидеть ее с птичьего полета как одно целое. Но нам никогда не удастся взглянуть с птичьего полета на всю солнечную систему; мы видим ее лишь изнутри, так что наглядное доказательство возможности существования такой системы могло быть получено только открытием других подобных ей систем, которые мы могли бы видеть снаружи.

Вильям Гершель полагал, что ему удалось подтвердить свою теорию строения галактической системы именно этим путем: он имел в виду открытие подобных ей систем, которые видны нам с птичьего полета как системы, лежащие далеко за пределами галактики. Гершель назвал эти объекты «островными вселенными» и полагал, что каждая из них представляет собой звездные облака. Эти объекты имели дымчатый, туманный вид, и, хотя



в них нельзя было наблюдать отдельных звезд, Гершель считал, что это окажется возможным при достаточном увеличении силы телескопов, подобно тому, как уже первый телескоп позволил Галилею увидеть отдельные звезды в Млечном Пути.

Эти объекты, к описанию которых мы скоро перейдем, обычно называются «внегалактическими туманностями» по их местоположению во вселенной; однако мы часто будем обозначать их более кратким названием «большие туманности», на которое они, по их огромной величине, имеют бесспорное право.

ТУМАННОСТИ.

В телескоп планеты кажутся дисками заметной величины; в окуляр с 60-кратным увеличением Юпитер имеет такой же видимый размер, как Луна для невооруженного глаза. Однако ни в окуляр с 60-кратным увеличением, ни в какой угодно иной, звезда не может казаться нам такой же большой, как Луна. С любыми увеличениями, какими мы вообще располагаем, все звезды без исключения представляются нам только светящимися точками.

Конечно, звезды в огромное число раз больше Юпитера; но зато они находятся и на несравненно более далеких расстояниях; и в этом споре победа остается на стороне расстояний.

Однако мы наблюдаем в телескоп ряд объектов, которые кажутся нам совершенно отличными от светящихся точек. Обычно их яркость слаба, они имеют размытый, туманный вид: отсюда их общее название — «туманности». Тщательными исследованиями обнаружено, что они распадаются на три отдельных класса.

Планетарные туманности. Первый класс обычно обозначается термином «планетарные туманности». Конечно, ничего общего с планетами эти туманности по

ТАБЛИЦА II.



N. G. C. 2022



N. G. C. 6720



N. G. C. 4501



N. G. C. 7662

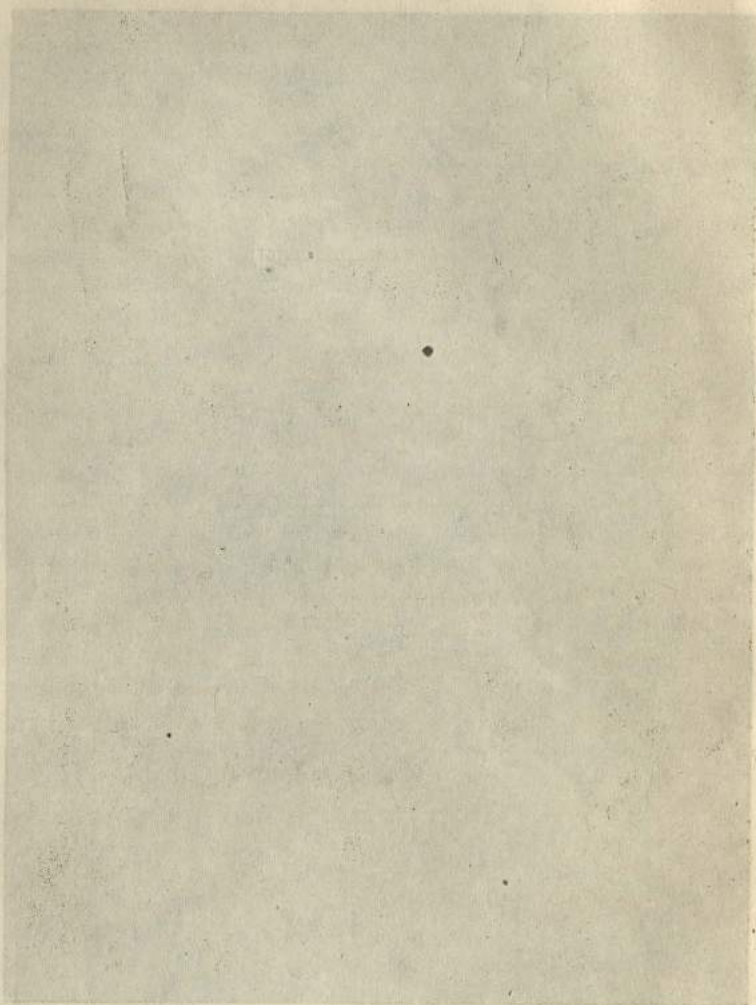
Обсерватория Моунт-Вильсон.

Планетарные туманности.



Обсерватория Моунт-Вильсон.

Туманность в Лебеде.



1. The aircraft is a single-engine, low-wing, conventional landing gear, and is a two-seater.

2. The aircraft is a single-engine, low-wing, conventional landing gear, and is a two-seater.

своей природе не имеют, — если не говорить о том, что при наблюдении в телескоп они, как планеты, обнаруживают заметный диск. Известно всего лишь несколько сот туманностей этого рода; четыре типичных объекта показаны на табл. II. Все эти туманности лежат внутри галактической системы и по своей природе относятся повидимому к звездам, вокруг которых по той или иной причине образовались светящиеся атмосферы огромных размеров. Если это так, то они опровергают наше общее утверждение, будто все звезды в телескоп кажутся только светящимися точками; мы должны сделать тут исключение в отношении планетарных туманностей.

Галактические туманности. Туманности второго класса обычно называются «галактическими»; примеры их показаны на табл. III, VI и VII. Они имеют совершенно неправильную форму. По общему виду их можно принять за огромные клочья раскаленного газа, которые стелются от звезды к звезде; и фактически их природа весьма к этому близка. Подобно планетарным туманностям, все они лежат внутри галактической системы. Даже на беглый взгляд ясно, что в каждую неправильную туманность внедрено несколько звезд; при детальном изучении в телескоп часто весьма трудно наметить им определенные границы; известны случаи, когда целые созвездия обволакиваются подобной туманностью.

В отношении физической природы этих туманностей теперь уже почти не имеется сомнений. Межзвездное пространство не является пустым, т. е. абсолютно свободным от всякого вещества; оно заполнено легкими облаками газа, разреженность которого, вообще говоря, почти не поддается описанию. В отдельных местах плотность этого газа может быть выше, чем в других; излучение звезд, находящихся внутри его, может местами его освещать и доводить даже до состояния свечения; наоборот, иногда это облако оказывается совершенно непрозрачным и образует как бы черные завесы на небе. Сочета-

нием всех этих разнообразных состояний в смысле плотности, непрозрачности или свечения объясняются те фантастические очертания и та градация светотени, которые мы наблюдаем в галактических туманностях.

Той же самой непрозрачностью газа объясняются и те темные пятна, которые встречаются на небе среди звездных полей. Замечательный пример их имеется в той части Млечного Пути, которая изображена на табл. I. Темное пятно, которое на первый взгляд кажется дырой в звездной системе, картинно обозначается термином «угольный мешок». Однако эти темные пятна не могут быть в действительности пустотами, ибо нельзя представить себе существования столь большого числа пустых туннелей, идущих сквозь толщу звезд и притом направленных прямо к Земле. Поэтому мы должны видеть в них завесы затемняющей материи, которая ослабляет или даже совершенно гасит свет лежащих за ней звезд.

Внегалактические туманности. К третьему классу относятся туманности существенно иной природы. Они имеют в большинстве случаев правильную и определенную форму и обладают многими другими отличительными признаками, по которым они легко определяются. Раньше их называли «белыми туманностями», по цвету их излучения. Позднее, когда гигантский 6-футовый телескоп лорда Росса обнаружил, что многие из них имеют спиральную структуру, их стали называть «спиральными туманностями». Самой замечательной из них является Большая Туманность в Андромеде (табл. IV). Она едва-едва заметна невооруженному глазу.

Марий, наблюдавший ее в 1612 г., отметил, что она выглядит «как пламя свечи, если смотреть на него через роговую пластинку».

На табл. V показана другая туманность этого класса, имеющая, вероятно, вполне аналогичную структуру; но она видна нам под другим углом и повидимому обращена к Земле почти ребром.

IV

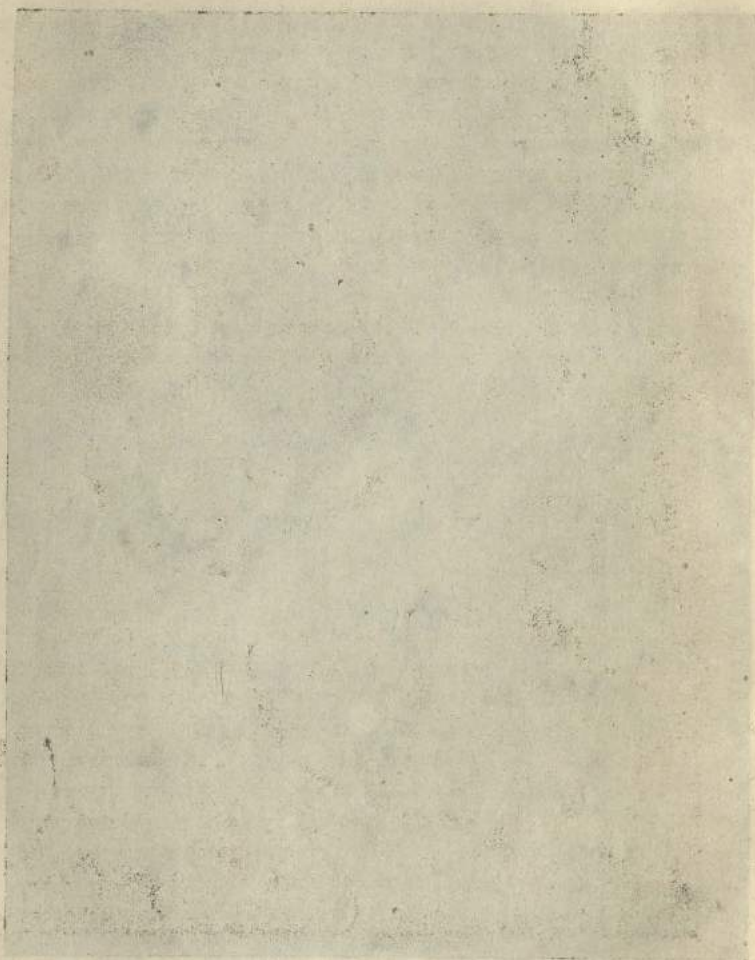
ТАБЛИЦА VI.



Обсерватория Иерке.

Большая Туманность М. 31 в Андромеде.

Вселенная вокруг нас.



Belmont T. & Co. N. Y. 11

Belmont T. & Co. N. Y. 11

В настоящее время имеются обильные доказательства того, что все туманности этого класса лежат за пределами галактики; таким образом название «внегалактические туманности» применяют к ним по праву. Размеры их колоссальны. Для того, чтобы на фотографиях табл. IV и V можно было заметить тело величиной с Землю, хотя бы и в сильный микроскоп, нужно было бы увеличить каждую из этих фотографий до размеров целой Европы. Общая форма этих туманностей соответствует той, которую по Вильяму Гершелю имеет галактическая система; на этом основании он и предполагал в них «островные вселенные». Мы увидим в дальнейшем, в какой мере такая точка зрения нашла подтверждение в современных исследованиях.

РАССТОЯНИЯ ЗВЕЗД.

1838 год знаменует собой следующий этап нашего обзора: только тогда удалось измерить расстояние звезды от Земли.

Во втором веке н. э. Птоломей рассуждал так: если Земля движется в пространстве, то ее положение относительно окружающих звезд должно непрерывно меняться. Если правда, что она ходит туда и обратно около Солнца, то ее обитатели находятся в положении детей на качелях: как качающемуся ребенку кажется, что ближайшие деревья, люди и дома совершают ритмические колебания на общем фоне далеких холмов и облаков, так и земным обитателям должно бы казаться, что ближайшие звезды непрерывно меняют свои положения в отношении общего фона более далеких звезд. Однако ночь проходит за ночью, но созвездия остаются всегда подобными самим себе, — так по крайней мере рассуждал Птоломей; одни и те же звезды в тех же относительных положениях вечно обращаются вокруг полюса, а характерные группы звезд, как семь звезд Большой Медведицы, Плеяды или созве-

зиде Ориона, не обнаруживают никаких перемен. Ибо все впечатления, которые получал невооруженный человеческий глаз, сводились к тому, что звезды являются только яркими мазками на далеком холсте, образующем задний фон небес, и что Земля есть та неподвижная ось, вокруг которой происходит вращение всего механизма.

В отличие от этого, по коперниканской теории действительно выходило, что ближайшие звезды должны обнаруживать видимые смещения относительно общей совокупности более далеких звезд при годичном обращении Земли вокруг Солнца. Но год проходил за годом, даже столетие проходило за столетием, однако открыть подобные смещения звезд не удавалось. И поэтому древняя птоломеева концепция, по которой Земля образует неподвижный центр мироздания, могла бы снова утвердиться в умах людей, если бы только к тому времени с различных точек зрения не стало уже очевидным, что даже ближайшие звезды чрезвычайно от нас далеки, так далеки, что кажущееся отсутствие их годичных смещений не должно нас удивлять. В самом деле, ребенок на качелях не получит наглядного доказательства своего движения, если ближайшие доступные его взору предметы находятся на расстоянии двадцати миль.

Только немногие звезды кажутся нам более яркими, чем Сатурн в эпохи его наибольшего блеска; он сравним тогда с Алтаиром, одиннадцатой по яркости звездой. Но Сатурн светит только отраженным солнечным светом; расстояние же его от Солнца таково, что на него падает только одна часть на $2\frac{1}{2}$ миллиарда частей света, испускаемого Солнцем. И так как поверхность Сатурна отражает только приблизительно $\frac{2}{5}$ получаемого ею света, то оказывается, что Сатурн светит в шесть миллиардов раз слабее Солнца. И если, как утверждали уже Кеплер и другие, звезда Алтаир по своей природе подобна Солнцу, то она вероятно обладает такой же силой света, как и Солнце, и следовательно должна испускать в шесть мил-

ТАБЛИЦА V



Обсерватория Моунт-Вильсон.

Туманность N. G. C. 891 в Андромеде, видимая в ребро.

Year	1950	1951	1952	1953
Total	100.0	100.0	100.0	100.0
A	10.0	10.0	10.0	10.0
B	20.0	20.0	20.0	20.0
C	30.0	30.0	30.0	30.0
D	40.0	40.0	40.0	40.0
E	50.0	50.0	50.0	50.0
F	60.0	60.0	60.0	60.0
G	70.0	70.0	70.0	70.0
H	80.0	80.0	80.0	80.0
I	90.0	90.0	90.0	90.0
J	100.0	100.0	100.0	100.0

Source: U.S. Bureau of Economic Analysis, *Survey of Current Business*, 1954, p. 10.

лиардов раз больше света, чем Сатурн. Другими словами, если бы Алтаир находился на том же расстоянии от нас, как Сатурн, он казался бы нам в шесть миллиардов раз ярче Сатурна. Следовательно то обстоятельство, что Сатурн и Алтаир обладают приблизительно одинаковой видимой яркостью, может происходить только оттого, что Алтаир находится от нас в 80 000 раз дальше, чем Сатурн. [⊙] Это рассуждение совпадает в его основе с тем, которое имеется у Ньютона в «Системе мира»; Ньютон выводил отсюда, что даже и наиболее яркие звезды, как Алтаир, должны быть действительно чрезвычайно далеки.

Так оно на самом деле и оказалось. Все усилия, направленные к обнаружению годичного колебательного движения звезд, — технически говоря, их «параллактического движения», — вызываемого годичным обращением Земли в ее орбите, оставались безуспешными вплоть до 1838 г.; но в этом году три астронома — Бессель, Гендерсон и Струве — почти одновременно установили наличие параллактических смещений у трех звезд, именно у β Лепеды, α Центавра и α Лиры. По величине найденных параллактических движений оказалось возможным вычислить расстояния этих звезд; таким образом обитатели Земли получили наглядное и окончательное доказательство своего движения вокруг Солнца; и более того, по видимым эффектам этого движения они получили возможность определить расстояния ближайших звезд. Найденные при этом значения расстояний нельзя назвать достаточно точными с точки зрения современной астрономической техники; но во всяком случае ими было дано определенное указание на тот масштаб, в котором построена вселенная. Остановимся здесь на минуту, чтобы дать себе отчет о том, как строится этот масштаб. Прежде

[⊙] Видимая яркость источника света падает пропорционально квадрату его расстояния, и квадрат 80 000 равен приблизительно шести миллиардам.

всего необходимо выбрать подходящую длину на Земле — базис длиной в несколько километров, и точно измерить его в установленной мере, скажем — в метрах. Исходя из длины этого базиса, геодезисты производят съемку узкой полосы земной поверхности, расположенной предпочтительно в направлении с севера на юг. После этого определяют разность широт конечных пунктов этой сети каким-либо астрономическим способом, например измерением разности высот Полярной звезды в обеих точках. Так как длина нашей сети в километрах уже известна, то можно легко получить из этих данных размеры Земли.

По Гейфорду (1909 г.) экваториальный радиус ее равен 6378,388, полярный — 6356,909 км.

Следующей задачей надо поставить определение размеров солнечной системы, считая данными размеры Земли. Когда при солнечных затмениях происходит покрытие Солнца Луной, то начало этого явления, т. е. момент видимого прикосновения лунного диска к солнечному, происходит в разное время для наблюдателей в различных местах земной поверхности. Определяя разность моментов наступления этого явления в разных точках, мы можем измерить расстояние до Луны, пользуясь известными расстояниями между местами наблюдения на Земле. Таким образом выведено, что среднее расстояние от центра Земли до Луны составляет 384 403 км. Подобно этому, наблюдения прохождений Венеры по диску Солнца дают возможность определить масштаб размеров солнечной системы, исходя из известных уже размеров Земли. Еще более удобны для этой цели наблюдения астероида Эрос. За наилучшее определение среднего расстояния от Земли до Солнца принимают теперь 149 450 000 км (величина, принятая Парижской конференцией 1911 г.). Наконец следующий и окончательный этап пройден в 1838 году: он состоял в определении расстояний до звезд, принимая за базис диаметр орбиты Земли.

Первый из трех шагов, о которых мы здесь говорили, т. е. переход от метра к длине базиса, измеренного на Земле, соответствует увеличению длины в несколько тысяч раз. Увеличение, с которым мы встречаемся на следующем этапе, т. е. при переходе от базиса на земной поверхности к диаметру Земли, тоже порядка нескольких тысяч. Равным образом и дальнейший шаг, т. е. переход от земного диаметра к диаметру земной орбиты, соответствует увеличению длины в тысячи раз. Но самый последний шаг, именно переход от земной орбиты к звездным расстояниям, требует уже увеличения в миллионы раз.

Из новейших определений мы знаем, что расстояния до ближайших звезд почти ровно в миллион раз больше расстояний до ближайших планет. Так расстояние до Венеры, в ее наибольшем приближении к Земле, равно 42 миллионам км, между тем как расстояние до ближайшей звезды, так называемой «Ближайшей Центавра» (Proxima Centauri), равно 40 биллионам[⊙] км; эта звезда есть слабый спутник α Центавра, яркой звезды южного полушария.

Расстояния планет, в их наибольшем приближении к Земле, и расстояния ближайших звезд показаны в следующей таблице (стр. 58).

Миллион есть число, которое почти невозможно представить себе наглядно; поэтому одно лишь утверждение, что звезды в миллион раз дальше планет, само по себе не дает отчетливого представления о том грандиозном промежутке, который отделяет солнечную систему от ее ближайших соседей в пространстве. Создающееся у нас впечатление о неподвижности звезд может вызвать, пожалуй, более живое представление об огромности этих расстояний.

[⊙] В переводе принята т. н. английская система обозначений: биллион есть миллион миллионов (10^{12}), миллиард — тысяча миллионов (10^9). П р и м. п е р е в.

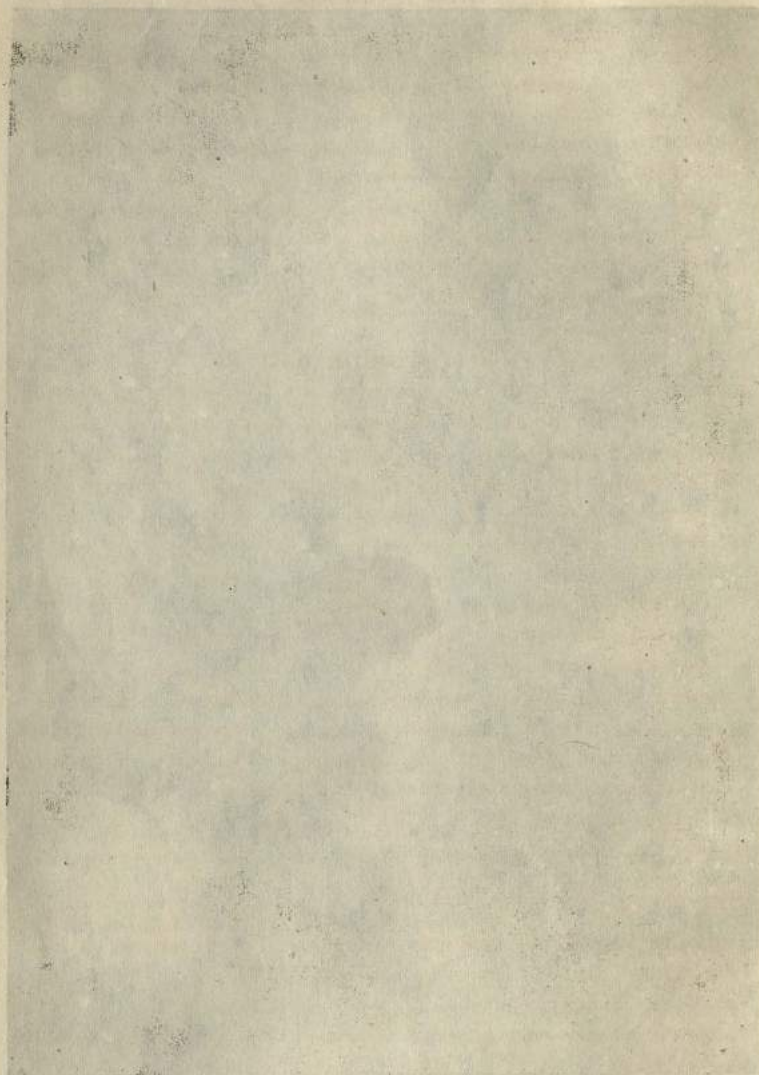
Земля совершает свой годичный оборот вокруг Солнца, двигаясь со средней скоростью 30 км в секунду, т. е. приблизительно в 1200 раз скорее курьерского поезда. Солнце движется между звездами почти с такою же скоростью — в 800 раз быстрее курьерского поезда. Вообще говоря, ближайшие к нам планеты и почти все звезды движутся приблизительно с такими же скоростями; мы получим не очень плохое приближение к действитель-

П л а н е т ы		З в е з д ы		
Название	Расстояние в миллионах км	Название [⊙]	Расстояние в миллионах км	Расстояние в световых годах
Венера	42	Ближайшая Центавра	40	4,27
		α Центавра		4,31
Марс	56	Мюнхен 15040 [⊙]	58	6,06
		Вольф 359	76	8,07
Меркурий	76	Лаланд 21185	79	8,33
		Сириус	82	8,65

⊙ Для обозначения слабых звезд астрономы пользуются обычно названием того звездного каталога, в котором значится данная звезда, и указанием ее номера. В дальнейшем встретятся преимущественно следующие сокращенные обозначения каталогов: В. D. (Боннер Дурхмустерунг — каталог приближенных положений и видимых яркостей около 200 000 звезд северного неба); Н. D. (Хэри Дрэнпер Каталог — каталог спектральных типов и видимых яркостей около 300 000 звезд, составленный на Гарвардской обсерватории). Другие каталоги обозначаются либо по их составителям (Лаланд, Крюгер, Вольф и т. д.), либо по обсерваториям (Мюнхен, Кордоба и т. п.). В случае двойных звезд более яркая составляющая обозначается буквой *A*, более слабая буквой *B* (Крюгер 60 *A* и *B*; Сириус *A* и *B*). Некоторые особенно интересные звезды обозначаются именами астрономов, их изучавших; мы встретим в дальнейшем звезды Пласскетта, Иннеса, ван-Маапена и др. Для туманностей имеется N. G. C. (Нью Джeneral Каталог, содержащий положения и краткие описания 12 000 туманностей) и старинный каталог Мессье, обозначаемый буквой *M*. Прим. перев.



Обсерватория Моунт-Вильсон.
Темная туманность „Лошадиная голова“ на фоне большой туманности Ориона.



Восток (Япония).
 Японская империя, на фоне которой
 находится Япония.

ности, если предположим, что все небесные тела движутся с совершенно одинаковыми скоростями, скажем для определенности — в 1000 раз быстрее курьерского поезда. Но расстояния небесных тел отображаются в тех видимых скоростях, которые наблюдаются у небесных тел в их движениях по небу; чем медленнее видимое движение, тем больше расстояние, и обратно. Движения планет так быстры, что их не составляет труда обнаружить от ночи к ночи и даже от часа к часу; но звезды смещаются так медленно, что невооруженным глазом никакие движения их не могут быть обнаружены от поколения к поколению и от века к веку. Даже характерные созвездия, состоящие в общем из более близких к нам звезд, сохранили свой вид неизменным на протяжении всех исторических эпох. Контраст между планетами, которые меняют свои видимые положения с каждым часом, и звездами, у которых не обнаруживается заметных смещений за целые столетия, создает достаточно яркое впечатление о том, в какой огромной мере расстояния звезд превосходят расстояния в солнечной системе.

Гораздо труднее представить себе действительные расстояния звезд. Сказать, что даже ближайшая из них удалена от нас на 40 миллиардов км, еще не значит вызвать какое-либо реальное представление в нашем уме; сделать это, пожалуй, проще, заметив, что это расстояние равно 4,27 световым годам, иными словами — что световому лучу, проходящему по 300 000 км в каждую секунду, нужно 4,27 года, чтобы покрыть это расстояние.

Скорость света равна скорости радиосигналов, так как в обоих случаях физический процесс состоит в распространении волн электрических возмущений. Кстати сказать, их скорость почти ровно в миллион раз больше скорости звука. Огромная разница в скоростях звука и света очень рельефно обнаруживается при всякой радиопередаче. Когда диктор передает в Лондоне, его голос проходит со скоростью звуковой волны расстояние в один

метр от его рта до микрофона в больший промежуток, чем следующие 900 км со скоростью электрической волны — скажем до Милана или до Берлина. Радиослушатель в Австралии услышит концерт из Лондона раньше, чем обыкновенный слушатель в задних рядах концертного зала, воспринимающий только звуковую волну; в Австралии ее услышат через $\frac{1}{15}$ секунды после подачи. Между тем свету или радиоволнам, распространяющимся со скоростью света, нужно 4,27 года, чтобы дойти до ближайшей звезды, так что жители «Ближайшей Центавра» могли бы слышать земной концерт только с опозданием на четыре с четвертью года. Но в дальнейшем нам придется говорить и об иных, еще более далеких звездах, до которых земная музыка не дошла бы еще и сейчас, если бы даже она отправилась в путь до завоевания Англии норманнами, или до постройки пирамид, или до появления человеческого рода на Земле.

ЭПОХА ФОТОГРАФИИ.

Если бы у нас была возможность выделить еще один этап развития астрономии, то нужно было бы прежде всего остановиться на применении к астрономии фотографических методов в последних годах XIX века; это открыло плотину перед всем ходом дальнейшего развития гораздо шире, чем все, что было сделано начиная от изобретения телескопа. До этой эпохи телескоп собирал и преломлял лучи, идущие от небесных светил, направляя сконцентрированный поток лучей через зрачок на сетчатку глаза; но начиная с нее он стал направлять его на несравненно более чувствительную пластинку. Глаз может сохранять впечатление только в течение доли секунды; фотографическая пластинка воспринимает и суммирует отображения, падающие на нее в течение часов, а иногда и целых дней; она запечатлевает их, в сущности, навсегда. Глаз может измерять угловые расстояния между небесными объектами

только с помощью системы сетки нитей, винтов и верньеров; на пластинке эти расстояния получаются автоматически. Глаз человека, находясь во власти предвзятых идей, нетерпения или надежды, может впасть — и фактически впадает — во всевозможные ошибки; фотографическая камера не может лгать.

В результате получилось то, что если бы мы захотели выбрать главные этапы развития астрономии в XX веке, то должны были бы признать, что, вообще говоря, все оно состоит из подобных этапов; медленные и трудные методы завоевания истины, которыми шли астрономы XIX века, уступили место чему-то вроде золотой горячки: заявки на новые участки, разведка почвы, собирание более крупных самородков, отказ от работы на одних участках в поисках других, более обещающих, — все это происходит так быстро, что всякая попытка дать обзор современного положения вещей рискует оказаться устаревшей прежде, чем этот обзор выйдет из печати. Мы можем только попытаться дать общее впечатление о новых областях астрономии, связав его неразрывно с изучением старых областей в свете нового знания.

ГРУППЫ ЗВЕЗД И ДВОЙНЫЕ СИСТЕМЫ.

Достаточно взглянуть на небо или, лучше, на снимок какой-либо его области, чтобы получить впечатление, что в общем звезды разбросаны как бы случайно по небу, оставляя в стороне лишь сгущение слабых звезд в направлении к Млечному Пути, о чем мы уже говорили. Всякий участок неба выглядит приблизительно так, как если бы и яркие и слабые звезды были высыпаны на него совершенно наугад из «небесной перечницы».

Но на этом вопрос не исчерпан. В разных местах видны группы звезд, близость которых нельзя считать делом случая. Пояс Ориона, Плеяды, Волосы Вероники и даже сама Большая Медведица — все они выглядят вовсе

не как случайности; фактически они таковыми и не являются. Именно существование подобных естественных групп лежит в основе распределения звезд на созвездия и оправдывает его. В дальнейшем мы поясним, в чем состоит изучение физических свойств звезд; в настоящий момент достаточно заметить, что именно исследование физики звезд подтверждает предположение о том, что группы звезд, подобные только что названным, составляют, вообще говоря, действительные семейства, а не случайные скопления звезд. Звезды такой группы, например звезды в Плеядах, не только обнаруживают сходные физические свойства, но обладают еще и одинаковыми движениями в пространстве: они движутся в небе всегда в своем собственном обществе. И поскольку такие группы физически однородны и движутся единым общим движением, к ним было бы вполне применимо название звездных семейств. Однако в астрономии их называют обычно «движущимися скоплениями».

Число членов таких звездных семейств может быть каким угодно; в самых малых и вместе с тем наиболее частых оно равно двум. Затем чаще других встречаются семейства из трех членов; так наша ближайшая соседка в пространстве, «Ближайшая Центавра», вместе с обеими звездами α Центавра образует такую тройную систему. Наконец встречаются и системы, состоящие из четырех, пяти и шести звезд, и так далее, беспрестанно.

Остановимся прежде всего на семействах, в составе которых имеется лишь по два члена, — на «двойных системах» по обычной терминологии. Даже в том случае, если бы звезды были рассыпаны по небу совершенно наугад из перечеицы, то и тогда по законам случая непременно вышло бы так, что некоторое количество этих звезд имело бы для нас вид весьма тесных звездных пар. Изучение снимка любой области неба подтверждает, что такие тесные пары действительно имеются в любом звездном поле. Однако число их оказывается больше, чем того требуют

законы случая. Некоторые звезды могут оказаться вблизи друг от друга случайно, но для объяснения близости остальных нужно искать какую-то физическую причину. Мы можем разгадать эту тайну, фотографируя звездное поле через промежутки в несколько лет и сравнивая полученные снимки. Мы найдем, что некоторые звезды из числа тех, которые вначале казались нам тесными парами, с течением времени непрерывно уходят одна от другой. Это те пары, составляющие которых казались нам близкими на небе, но в действительности не были близки друг к другу в пространстве; одна из обеих звезд при первых наблюдениях была расположена случайно почти в точности на той прямой, которая проходила от Земли до второй звезды. Но другие пары с течением времени не распадаются; изменяется лишь относительное положение их составляющих, но полного разделения звезд не произойдет никогда. В простейших случаях можно обнаружить, что одна звезда движется почти по круговой орбите вокруг другой, подобно тому как Земля движется вокруг Солнца или Луна вокруг Земли, и притом в силу той же самой причины: тяготение удерживает одну из них около другой.

Закон тяготения. Вы выпускаете из рук крокетный шар, и он падает на Землю. Это объясняют тем, что причиной его падения является притягательное действие Земли. Равным образом, если бросить этот шар в воздух, его движение не будет продолжаться безостановочно в том направлении, в котором он был брошен; будь так, он в самом деле не вернулся бы на Землю и пустился путешествовать в пространстве. От этой судьбы его спасает притягательное действие Земли, которое оттягивает его постепенно назад, пока он не упадет обратно на Землю. Чем больше будет его начальная скорость, тем дальше он успеет пролететь, прежде чем упадет; такой же шар, выброшенный из орудия действием выстрела, мог бы пролететь много километров, прежде чем быть притянутым обратно на Землю.

Закон, который обнаруживается в этих явлениях, чрезвычайно прост. Он заключается в том, что притягательное действие Земли заставляет все тела падать по направлению к Земле на 4,9 м в секунду. Это относится в совершенно одинаковой мере ко всем телам, каково бы ни было их движение, если только у них есть возможность падать на Землю; всякое тело, которое не имеет какой-либо опоры или поддержки против силы тяготения, к концу каждой секунды окажется на 4,9 м ниже, чем если бы сила тяготения на него в течение этой секунды не действовала. [⊗]

Чтобы пояснить смысл сказанного, допустим, что большая круговая дуга $B'A'C'$ на рис. 2 изображает земную поверхность, и предположим, что из точки A , вершины возвышенности AA' , сделан выстрел в горизонтальном направлении. Если бы на снаряд не действовало притяжение Земли, то он мог бы уйти в пространство сколь угодно далеко, двигаясь в направлении прямой AB . Если отрезок AB представляет собой как раз то расстояние, которое снаряд прошел бы в этих воображаемых условиях в одну секунду, то в результате действительного полета к концу первой секунды он должен оказаться уже не в B , но на 4,9 м ближе к Земле, так как ее тяготение притянет снаряд именно на эти 4,9 м за время его полета. Если например расстояние BB' на рис. 2 равно как раз 4,9 м, то снаряд ударится о Землю ровно через секунду после начала полета.

Для другого примера допустим, что, падая на 4,9 м ниже точки B , снаряд дойдет не до самой Земли, а только

[⊗] Такая формулировка законов падения тел несколько необычна; для пояснения ее допустим, что тело падает в течение t секунд; оно пройдет при этом путь $s = \frac{1}{2} gt^2$ и приобретет скорость $v = gt$. Пусть следующую секунду оно движется по инерции с этой скоростью; тогда к концу $t+1$ секунды оно прошло бы путь $\frac{1}{2} g(t^2 + 2t)$; но в действительности в течение всех $t+1$ секунд оно прошло бы $\frac{1}{2} g(t+1)^2 = \frac{1}{2} g(t^2 + 2t + 1)$, т. е. на $g/2$ или на 4,9 м больше, чем в предыдущем предположении. П р и м. п е р е в.

до точки b , находящейся на такой же высоте над поверхностью Земли, как и точка A , из которой был дан выстрел. Если бы притяжение не действовало вовсе и снаряд летел бы по прямой линии AB , его высота над Землей увеличилась бы непрерывно. Но в том случае, который мы сейчас имеем в виду, тяготение оттягивает снаряд книзу и притом в такой именно мере, что этим уничтожается увеличение высоты, которое имело бы место в противном случае; таким образом высота снаряда не уменьшается и не возрастает; он не улетает в пространство и не падает на

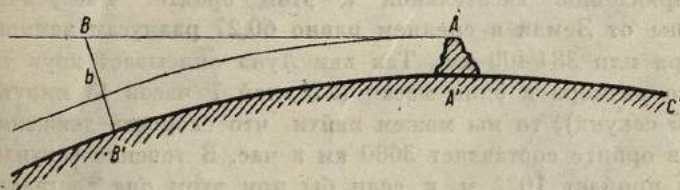


Рис. 2.

Землю, но продолжает кружиться вокруг Земли бесконечно.

Простое геометрическое построение показывает, что если расстояние Bb равно 4,9 м, то расстояние AB , перекрываемое в 1 секунду, должно равняться 7,89 км. [⊕] Та-

⊕ Пусть C центр Земли, bcD ее диаметр, проведенный через b . По известной теореме о произведении всей секущей на ее внешнюю часть имеем $Bb \times BD = BA^2$. Здесь $Bb = 4,9$ м, а BD равно земному диаметру, увеличенному на 4,9 м, т. е. 12 700 км. Отсюда легко находим, что $BA = 7,89$ км; при этом мы, конечно, пренебрегаем высотой A' по сравнению с диаметром Земли (рис. 3); эта скорость вычисляется и по формуле $v = \sqrt{gR}$, где g — ускорение силы тяжести, R — средний радиус Земли.

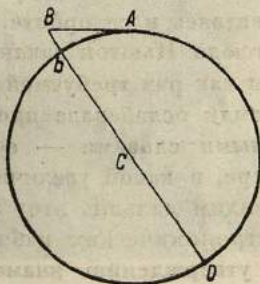


Рис. 3.

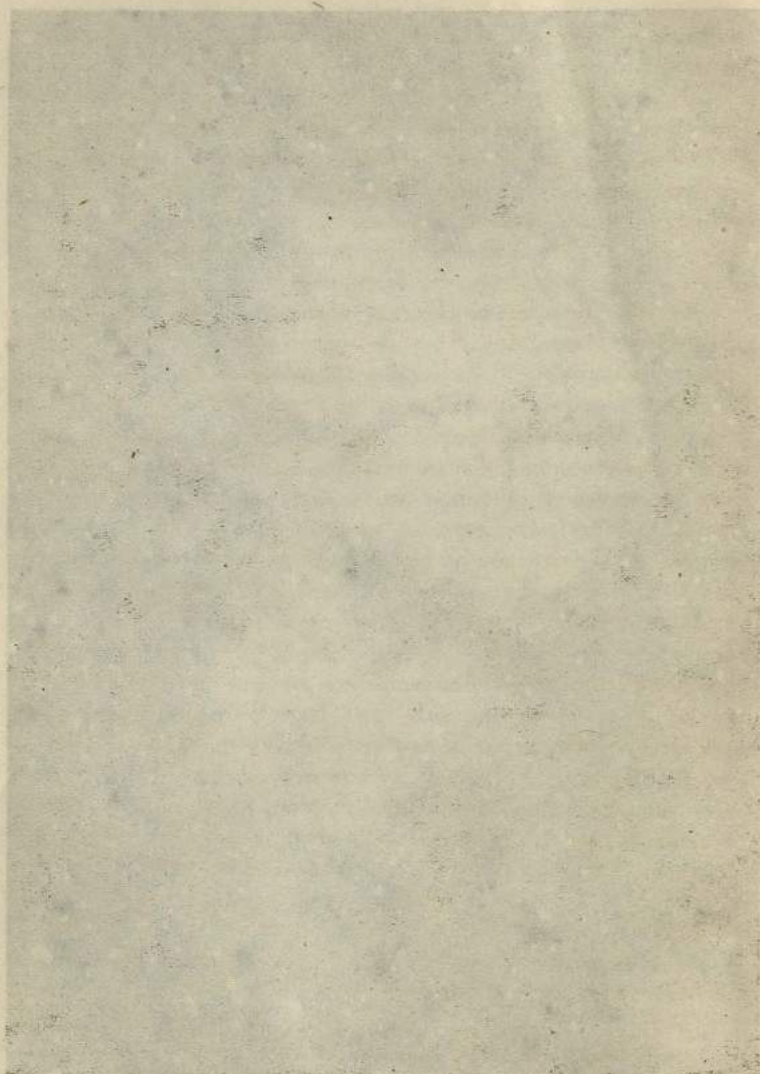
ким образом, если бы мы могли сообщить снаряду, пущенному в горизонтальном направлении, скорость в 7,89 км в секунду, то он стал бы навсегда описывать круги вокруг Земли, так как ее притягательное действие в точности уравновешивало бы естественное стремление снаряда лететь по прямой *AB*.

В 1665 году Ньютон начал подозревать, что именно это притягательное действие Земли может служить причиной того, что Луна движется вокруг Земли по круговой орбите вместо того, чтобы уйти от нее в пространство по направлению касательной к этой орбите. Расстояние Луны от Земли в среднем равно 60,27 радиусам земного шара или 384 400 км. Так как Луна описывает круг такого размера в один месяц (27 дней 7 часов 43 минуты 11,5 секунд), то мы можем найти, что скорость движения ее в орбите составляет 3680 км в час. В течение секунды она пройдет 1022 м, и если бы при этом она двигалась по строго прямолинейному пути, то это увлекло бы ее на 0,135 см дальше от Земли. Поэтому, для того, чтобы движение ее оставалось круговым, необходимо чтобы она падала к Земле на 0,135 см в каждую секунду. Это падение гораздо слабее, чем то, которое обнаруживают тела у самой поверхности Земли; но Ньютон предположил, что сила земного тяготения ослабевает по мере удаления от Земли. Оказывается, что все тела у поверхности Земли падают на нее в 3632 раза скорее, чем падает к Земле Луна, двигаясь в ее орбите. Но 3632 есть квадрат числа 60,27; отсюда Ньютон заключил, что падение Луны получилось бы как раз требуемой величины, если бы сила притяжения Земли ослабевала пропорционально квадрату расстояния, иными словами — если бы она убывала именно в той мере, в какой увеличивается квадрат расстояния. Как мы увидим дальше, этот закон подтверждается в бесчисленных астрономических наблюдениях. Это и привело Ньютона к утверждению знаменитого закона тяготения, согласно которому притягательное действие всякого тела, как



Обсерватория Моунт-Вильсон

Тройничная туманность М. 20 в Стрельце.



например Земли, ослабевает пропорционально квадрату расстояния от него.

Проф. Бойс и другие измерили лабораторными опытами то притягательное действие, которое производит масса в несколько тонн свинца; зная его величину, нетрудно вычислить, какое количество тонн должно заключаться в массе Земли, для того чтобы она действовала на внешние тела с той именно силой, которую мы наблюдаем.

Таким образом найдено, что масса Земли равна немногим меньше 6000 триллионов тонн, что можно записать короче 6×10^{21} т. [⊗]

Подобно тому как притягательное действие Земли заставляет Луну описывать вокруг нее круговую орбиту, так и притяжение Солнца заставляет Землю и все прочие планеты двигаться вокруг него по кругам; зная удаление любой планеты от Солнца, равно как и скорость движения ее в орбите, мы можем вычислить то расстояние, на которое планета падает к Солнцу в каждую секунду. Отсюда определяется величина притягательного действия Солнца и из нее выводится, что масса его в 332 000 раз больше массы Земли и равна почти в точности 2×10^{27} т или 2×10^{33} г. Какую бы планету мы ни взяли, мы всегда получим для массы Солнца одну и ту же величину. Это не только внушает нам уверенность в правильности вычисления массы Солнца, но вместе с тем служит замечательным подтверждением закона всемирного тяготения: будь этот закон неверен или неточен,

[⊗] В этой книге под тонной взезде подразумевается метрическая тонна, равная тысяче кг или миллиону г. Написание 6×10^{21} означает число, состоящее из 6 и 21 нуля. Этот сокращенный способ записи чисел важен при астрономических вычислениях. Миллион есть 10^6 , миллиард 10^9 , биллион 10^{12} , триллион 10^{15} и т. д. Это же обозначение применяется и для написания весьма малых чисел. Так, 10^{-21} означает то же, что $1/10^{21}$ и т. д.; 6×10^{-6} есть то же самое, что $6/1000000$ или 0,000006.

каждая из планет сказала бы свое особое слово по вопросу о массе Солнца.

Массы Солнца и Земли определяются, как мы видим, из изучения движения тел, захваченных их притягательным действием, или, как сказал бы математик, «движущихся в поле их тяготения»; таким же способом возможно

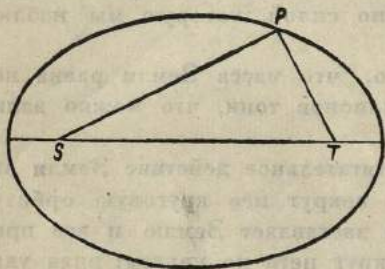


Рис. 4. Эллипс и его фокусы в точках S и T.

определить массу любого тела, притяжение которого заставляет кружиться вокруг него другое тело небольших размеров. Движение спутников Юпитера дает возможность вычислить массу Юпитера; она оказывается равной приблизительно $1,92 \times 10^{24}$ т; таким образом она в 317 раз больше массы Земли, но все же составляет лишь $\frac{1}{1047}$ массы Солнца. Масса Сатурна равна $5,71 \times 10^{23}$ т, т. е. она в 94,9 раза больше массы Земли.

Массы звезд. Мы переходим теперь к замечательным приложениям только что развитых теорий; когда мы наблюдаем, как две звезды на небе движутся одна вокруг другой, мы можем определить их массы из изучения их орбит. Вообще говоря, эта задача не так проста, как та, о которой мы до сих пор говорили. Для правильного подхода к ней мы снова должны обратиться к математическому учению Ньютона.

Было показано, что снаряд, пущенный горизонтально со скоростью 7,89 км в сек., будет кружиться бесконечно вокруг Земли. Но что произойдет, если выстрел будет сделан в другом направлении или если снаряду будет сообщена иная скорость?

Ответ на эти вопросы был дан Ньютоном. Он показал, что если небольшое тело движется каким бы то ни было образом под действием притягательной силы другого, массивного тела, то оно может умчаться совершенно, если только его скорость больше некоторой критической величины; в этом случае орбита — кривая линия, называемая гиперболой. Но если скорость малого тела не достигает этой критической величины, то его орбита всегда будет эллипсом — нечто вроде вытянутого круга или овала (рис. 4).[⊕] Еще раньше Кеплер показал, что пути планет вокруг Солнца являются в действительности не кругами, но эллипсами, мало отличающимися от кругов; это те кривые, которые в геометрии называются «эллипсами малого эксцентриситета».

Все это служит еще одним подтверждением закона всемирного тяготения, ибо можно доказать, что если бы сила притяжения убывала по какому-либо закону, отличному от закона обратной пропорциональности квадратам расстояний, то орбиты планет не могли бы быть эллиптическими.

⊕ Эллипс определяется проще всего как кривая, описанная точкой P , движущейся так, что сумма ее расстояний PS и PT от двух неподвижных точек S и T остается все время одинаковой. На практике легко начертить эллипс, перебросив бесконечную нить $SPTS$ через две кнопки S и T , наколотые на чертежную доску. Туго натянув нить в точке P и обводя по ней карандашом (оставляя нить все время натянутой), мы и начертим кривую, наз. эллипсом. Если кнопки S и T на чертежной доске находятся близко друг к другу, кривая, описанная карандашом P , будет иметь форму близкую к кругу. Отношение расстояния ST к остающейся части нити, т. е. $SP + PT$, называется эксцентриситетом эллипса; это отношение всегда меньше единицы, так как сумма двух сторон треугольника больше третьей стороны.

В предельном случае, когда эксцентриситет равен нулю, эллипс обращается в круг. Если эксцентриситет имеет значение, близкое к 1, эллипс становится весьма удлинённым. Все формы эллипса могут быть получены изменением эксцентриситета от 0 до 1; они представляют собой все виды орбит, которые небольшое тело может описывать вокруг тяжелой притягивающей массы. Точки S и T называются фокусами эллипса; большое притягивающее тело всегда находится в одном из фокусов эллипса.

Изучая движение двойных звезд, астроном обычно находит, что обе составляющие пары движутся друг около друга не по кругам, а по эллипсам. ☉ Таким образом здесь снова подтверждается закон Ньютона, и мы имеем все основания утверждать, что силы, которыми звезды двойных систем сдерживаются вместе, суть те же самые силы тяготения, которые не дают Луне уйти от Земли или планетам от Солнца. Изучение таких эллипсов открывает путь к определению масс этих звезд. Если бы одна из составляющих была неизмеримо больше другой, то она оставалась бы неподвижной, в то время как легкая составляющая описывала бы вокруг нее эллипс; ее движение было бы совершенно подобно движению планеты вокруг Солнца. Но такие случаи не наблюдаются в природе, так как массы обеих составляющих обычно сравнимы по величине, и это вносит новые осложнения в нашу задачу. Однако здесь нет нужды входить в математические детали. Достаточно сказать, что ни одна из звезд не остается неподвижной; обе описывают друг около друга эллипсы различного размера, и изучение этих эллипсов приводит к определению масс обеих звезд двойной системы.

В следующей таблице (стр. 75) даны массы звезд в четырех двойных системах, ближайших к Солнцу; они получены только что указанным способом. Масса Солнца принята за единицу.

Мы видим, что массы звезд не отличаются слишком резко от массы Солнца, хотя, конечно, во всем пространстве нашлись бы звезды и больших и меньших масс сравнительно с теми, которые приведены в нашей таблице по случайному признаку их близости к Солнцу. Но, так или иначе, мы во всем пространстве не знаем звезды, масса которой была бы определена достаточно точно и оказалась меньшей, чем у звезды Крюгер 60 В; но с другой стороны

☉ То, что наблюдается в действительности, есть «проекция» орбиты на небо; но по известной теореме геометрии проекция эллипса есть всегда эллипс.

известно много звезд, массы которых значительно больше показанных в нашей таблице.

Звезда	Расстояние от Солнца в свето- вых годах	Массы соста- вляющих (масса Солнца = 1)	Светимость
α Центавра A	4,31	1,14	1,12
" B		0,97	0,32
Сириус A	8,65	2,45	26,3
" B		0,85	0,0026
Прокцион A	10,5	1,24	5,5
" B		0,39	0,00003
Крюгер 60 A	12,7	0,25	0,0026
" B		0,20	0,0007

Среди звезд, массы которых определены более или менее точно, звезда H. D. 1337 (звезда Пирса) является самой массивной; массы ее составляющих соответственно равны 36,3 и 33,8 солнечных масс. Звезда Пласскетта (B. D. 6° 1309) несомненно имеет еще большую массу: массы составляющих равны у нее по меньшей мере 75 и 63 солнечным массам, вероятно даже и больше; точные их значения неизвестны (см. ниже, стр. 84).

Система звезды 27 Большого Пса состоит из четырех звезд; их общая масса, по имеющимся данным, не меньше 940 солнечных масс; однако мы в праве отнестись пока с известной осторожностью к этому числу, которое уходит столь далеко за обычные пределы звездных масс.

В нашей краткой таблице среднее значение масс звезд, входящих в состав двойных систем, равно 0,94 массы Солнца; таким образом масса Солнца имеет величину несколько большую средней; это подтверждается при более подробном изучении звездных масс.

Мы могли бы ожидать *à priori*, что значения звездных масс окажутся какими угодно, ибо ничто не говорит еще против возможности существования звезд, массы которых были бы в миллион раз больше массы Солнца, или же были равны массе Земли, или даже меньше того. Однако в действительности мы находим, что массы звезд по большей части почти одинаковы между собой, причем только у немногих звезд массы сильно отличаются от массы Солнца. Это указывает повидимому на то, что звезды представляют собой совершенно определенный вид космических образований, а отнюдь не случайные комки светящегося вещества.

Светимость звезд. В последнем столбце таблицы на стр. 75 приведены так называемые светимости звезд; ими выражается сила света звезды, принимая за единицу силу света Солнца. Так например, число 26,3, поставленное в строке Сириуса, означает, что Сириус, если смотреть на него как на маяк в пространстве, обладает силой света, в 26,3 раза превосходящей силу света Солнца. ☉ Между

☉ Термин «*luminosity*» передан в переводе выражениями «действительная яркость» или же светимость звезды. Читатель будет постоянно иметь в виду различие между действительной яркостью звезды и видимой, кажущейся нам ее яркостью, которая измеряется в астрономии в условных единицах, так называемых «звездных величинах» (см. прим. к стр. 89).

Помимо силы света звезды она зависит очевидно и от ее расстояния. Но здесь уместно пояснить еще одно понятие, с которым мы встретимся в дальнейшем (см. диаграмму Расселя на стр. 365): это так называемые *абсолютные величины* звезд. Зависимость между абсолютной величиной звезды и ее светимостью выражается соотношением: $M = +4,85 - 2,5 \log L$ (здесь M — абсолютная величина, L — светимость). Отсюда видно, что при $L = 1$, $M = +4,85$; такова абсолютная величина Солнца — его светимость принимается за 1; при $L = 87$, т. е. для звезд, светимость которых в 87 раз больше солнечной, $M = 0$; для звезд еще более ярких абсолютные величины выражаются отрицательными числами, причем увеличению L в 100 раз соответствует уменьшение M на 5 единиц (при $L = 8700$, $M = -5$ и т. д.); при ослаблении силы света в 100 раз, M увеличивается на 5. Эти соотношения легко проверить по шкалам, имеющимся с обеих сторон диаграммы Расселя. Прим. перев.

светимостями отдельных звезд обнаруживаются несравнимо большие различия, чем между их массами. Вообще более массивные звезды оказываются и более яркими, как и следовало ожидать; однако разни́ца в светимости во много раз превосходит разни́цу в массе. Так например, масса более тяжелой составляющей Сириуса в 2,9 раза больше массы второй составляющей; однако по яркости первая в 10 000 раз сильнее второй. Далее, в системе Прокциона масса тяжелой составляющей в 3,2 раза больше массы легкой, но по яркости первая превосходит вторую в 180 000 раз. При этом обнаруживается почти всеобщий закон, по которому светимость звезды на тонну ее вещества значительно больше в тяжелых звездах, чем в легких. Это является одним из центральных и на первый взгляд самых удивительных фактов физики звезд; он настолько важен и глубок, что мы не можем принять ни одной теории строения звезд, если только она не в состоянии его объяснить.

Лучевые скорости. В тех случаях, когда расстояние звезды известно, из ее видимого движения по небу можно вычислить ее действительную скорость в км/сек. в направлении, перпендикулярном к тому, в котором мы ее наблюдаем, или, как говорят, перпендикулярно к лучу зрения; но получить из этих данных скорость движения звезды по лучу зрения никак нельзя. Мы не можем наблюдать движения тела, направляющегося прямо на нас или от нас, и потому, если бы скорость звезды по лучу зрения была хоть в тысячу км в сек., все равно — эта звезда казалась бы нам неподвижной на небе.

Для определения таких скоростей — которые носят название лучевых — астроном прибегает к помощи спектроскопа.

Всякий свет состоит из лучей различного цвета; Ньютон в знаменитом опыте с призмой разложил солнечный свет на составляющие лучи всех цветов радуги; подобно этому, спектроскоп разлагает свет, идущий от звезды или

от какого-либо иного источника, на его различные составные цвета. В этом приборе исследуемый луч света растягивается в полосу, окраска которой состоит из непрерывной последовательности цветов; эта полоска носит название «спектра». Цвета его те же, что и в радуге, и идут в таком же порядке, от фиолетового, через зеленый и оранжевый, к красному. Это имеет определенное физическое основание.

Мы увидим дальше (стр. 167), что свет представляет собой потоки волн — подобно зыби, которую ветер подымает на поверхности воды, и что различие в цветах происходит от различия в длине этих волн; красный цвет возникает от самых длинных, фиолетовый — от самых коротких волн.

В спектре цвета идут один за другим в порядке длин волн, от самых длинных (красный конец) до самых коротких (фиолетовый конец). В спектрах звезд обычно наблюдается выпадение отдельных небольших участков, так что звездный спектр оказывается пересеченным целым рядом тонких линий или полос и напоминает скорее решетку, чем непрерывную последовательность цветов. Примеры звездных спектров даны на табл. VIII.

Очень полезной и важной является классификация звезд, основанная на типах спектров, которые они испускают. При этом обнаружено, что все звездные спектры, вообще говоря, могут быть расположены в один непрерывный ряд: основные типы спектров в этом ряду обозначаются буквами *B*, *A*, *F*, *G*, *K*, *M*; для переходных типов принято десятичное подразделение (например, типы *B0*, *B1*, *B2* и т. д. до *A0*).

Спектральные типы отмечены слева на табл. VIII.

Если исследовать свет от звезды в спектроскоп, то оказывается, что вся решетка темных линий и полос в ее спектре бывает смещена целиком в направлении к одному из концов спектра. Если наблюдается смещение к красному концу, то свет, испускаемый звездой, доходит к нам

ТАБЛИЦА VIII.



B0

ε Ориона



A0

Сириус



F0

δ Близнецов



G0

Капелла



K0

Арктур



M0

Бетельгейзе

Звездные спектры.

(Спектральные типы обозначены слева).

в более «красном состоянии», чем он должен бы быть нормально; но так как красный цвет обладает наибольшей длиной волны, то это означает, что каждая из волн этого света длиннее или более растянута, чем при нормальных условиях, и мы заключаем, что звезда удаляется от нас. Точно так же, если вся решетка спектра смещена к фиолетовому концу, мы знаем, что звезда приближается к нам.⁵² По наблюдаемой величине такого сдвига спектральных линий оказывается возможным вычислить лучевую скорость звезды; это вычисление необыкновенно просто. Пусть например в данном спектре длины волн получаются по всем линиям и полосам на одну сотую процента больше, чем длины волн, соответствующие тем же линиям и полосам при обычных условиях; это означает, что скорость удаления звезды от нас по лучу зрения равна одной сотой процента скорости света, т. е. 30 км в сек., и аналогично этому для смещений всякой иной величины.

Спектрально-двойные звезды. Так как обе составляющие звездной пары движутся, вообще говоря, с разными скоростями, то спектр двойной системы в обычных условиях состоит из двух наложенных друг на друга спектров; оба они обнаруживают различные смещения их линий и полос, соответствующие скоростям каждой из составляющих. Допустим, что из соответствующих наблюдений и вычислений найдены орбиты, по которым происходит движение обеих составляющих двойной системы; зная их, можно определить, с какой скоростью эти звезды движутся по лучу зрения, и отсюда предсказать, насколько оба спектра оказались бы смещенными от их нормальных положений при спектральном наблюдении системы; очевидно, спектроскоп должен был бы подтвердить подобное предвычисление.

⁵² Смещение спектра, вызываемое движением испускающего его тела, обычно носит название эффекта Доплера.

Однако гораздо более поучительно представить себе обратный порядок исследования. Допустим, что при анализе света данной звезды астроном получает сложный спектр, в котором два различных спектра ритмически смещаются в ту и другую сторону от их нормальных положений. Наличие двух спектров указывает ему на то, что он имеет дело с двойной системой; если ритмические смещения завершаются через два года, то из этого следует, что период движений в данной орбите равен двум годам. Тогда астроном начинает изучать звезду визуально, в телескоп, и находит, что она представляет собой двойную систему, составляющие которой обращаются друг около друга в течение двух лет.

Далее, астроном исследует другой спектр и обнаруживает, что его ритмические колебания повторяются через каждые два дня; но, наблюдая эту звезду в телескоп, он видит только одну светящуюся точку. Разумеется, и в этом случае должны быть две звезды; но уже тот факт, что обращение их происходит в такой короткий период, как два дня, указывает, что эти звезды должны быть весьма близки друг к другу; поэтому здесь нечего удивляться тому, что телескоп оказался бессилен разделить изображение звезды на две отдельные светящиеся точки. Системы подобного рода, которые при спектральных наблюдениях оказываются двойными, но в телескоп видимы только как одна светящаяся точка, называются «спектрально-двойными звездами». Таких систем известно более тысячи.

При попытке построить орбиту такой системы из одних только спектральных наблюдений, астроном наталкивается на своеобразные затруднения. Из этих наблюдений он может получить только скорости по лучу зрения. Но эти скорости зависят не только от действительных скоростей движения, но и от перспективного сокращения орбиты, которое получается при том или ином наклоне плоскости орбиты к лучу зрения. Нетрудно показать, что одна и та же лучевая скорость может получиться как при дви-

жении по большой орбите, расположенной почти перпендикулярно к лучу зрения, так и по малой орбите, плоскость которой имеет небольшой наклон к лучу зрения и в силу этого усматривается нами в значительном перспективном искажении. Поэтому из одних только спектральных наблюдений нельзя вывести ни действительного размера орбиты, ни значений масс движущихся по ней звезд (рис. 5).

Затменные двойные звезды. Но здесь имеется одно исключение. Известны случаи, когда яркость звезды через правильные промежутки времени ослабевает, но затем вновь усиливается до своего исходного блеска. Очевидное объяснение такого падения яркости состоит в том, что здесь одна из составляющих пары проходит перед другою и затмевает ее; очевидно, это может произойти только тогда, когда плоскость орбиты имеет весьма малый наклон

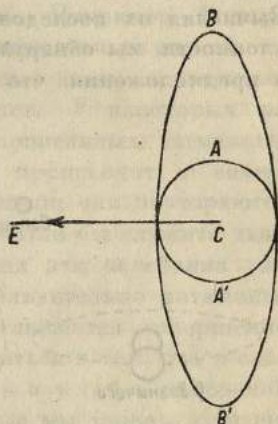


Рис. 5. Малая орбита AA' и большая орбита BB' дают одинаковую «лучевую скорость» по лучу зрения CE .

к лучу зрения, т. е. проходит или в точности через Землю, или по крайней мере очень близко от нее. В этом случае оказывается возможным построить орбиты, а отсюда вычислить и массы обеих составляющих. Более того, из продолжительности таких затмений определяются действительные размеры обеих составляющих; таким образом здесь получается полная совокупность данных, характеризующих систему. На рис. 6 показаны размеры и орбиты двух типичных затменных двойных систем; чертеж выдержан в одном масштабе. Для сравнения Солнце изображено на нем соответственным маленьким кружком.

Если в спектрально двойной системе не происходит затмений, то наклонность орбиты к лучу зрения остается совершенно неизвестной; но, взяв некоторое среднее значение наклонности, мы получим представление о возможных значениях масс обеих звезд в таких системах. Вычисляя их последовательно при разных значениях наклонности, мы обнаружим, что они выходят наименьшими в предположении, что плоскость орбиты проходит через

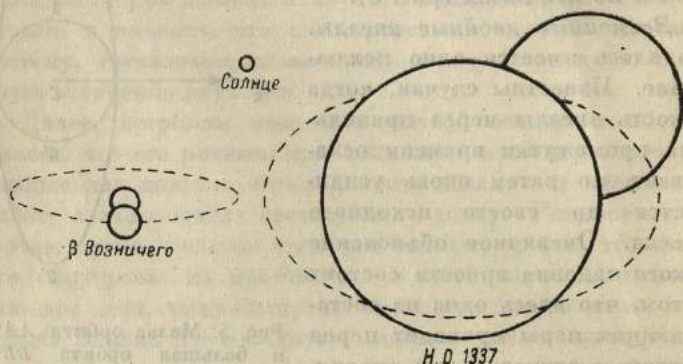


Рис. 6. Затменные двойные звезды. Составляющие этих систем и их орбиты (Солнце для сравнения.)

Землю, т. е. в том случае, когда орбиты вычисляются как для затменных двойных систем. Таким образом, хотя нам и невозможно получить действительные значения масс составляющих в незатмевающейся системе, однако мы всегда в состоянии указать пределы, ниже которых эти массы быть не могут — именно массы, вычисленные как если бы данная система была затменной. Этим путем установлено например, что массы обеих составляющих звезды Пласскетта должны быть соответственно больше 75 и 63 солнечных масс.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЕЗДЫ.

Большинство звезд светит совершенно ровным блеском, и поэтому можно сказать, что сила их света равна такому-то числу нормальных свечей. Например Солнце излучает свет с силой $3,23 \times 10^{27}$ нормальных свечей.

Однако имеются классы особенных звезд, яркость которых то усиливается, то ослабевает. У некоторых из них, как например у только что описанных затменных переменных, эти колебания света происходят в совершенно правильные промежутки времени; они повторяются с такой точностью, что эти звезды могли бы служить даже счетчиками времени. У других звезд эти колебания уже не так правильны, но все-таки приблизительно ритмичны; наконец у иных звезд они представляются совершенно неправильными, хотя нельзя сомневаться в том, что в свое время будет найдена закономерность и у таких изменений яркости. Однако в вопросах, которые мы теперь изучаем, различные типы неправильных переменных не имеют большого значения.

Цефеиды. Особенно интересны звезды, принадлежащие к одному классу правильных переменных; по их прототипу, звезде δ Цефея, их обычно называют Цефеидами. Физическая природа этих звезд и механизм колебаний их яркости еще далеко не получили своего объяснения; по этому вопросу имеется несколько соперничающих друг с другом теорий, которые нам пока нет надобности разбирать (стр. 303).

В чем бы ни заключался этот механизм, мы знаем из наблюдений, что Цефеиды обладают одним особенным свойством, имеющим исключительно важное значение для всей современной астрономии. Раз это так, мы можем принять это свойство как данное, с чувством большого удовлетворения, и не настаивать на том, откуда оно происходит и почему: ведь если бы мы даже и не понимали

того механизма, которым объясняются совершенно правильные колебания яркости затменных переменных, эти колебания все равно могли бы служить нам, как сказано, счетчиком времени. Подобно этому, колебания светимости переменных типа Цефеид обладают одним свойством, которое придает им значение мерных линеек для промера далеких расстояний во вселенной. Это свойство, коротко говоря, заключается в том, что по наблюдаемым колебаниям видимой яркости этих звезд мы можем определить их действительную яркость, а отсюда вычислить и их расстояния.

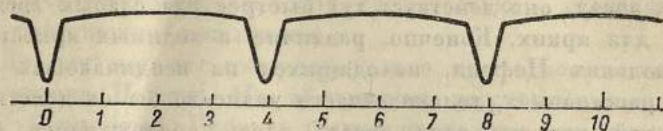
Колебания яркости Цефеид так характерны, что их легко отличить от переменных других типов. У них наблюдается быстрое увеличение силы света, за которым следует постепенное и медленное его ослабление; затем такое же быстрое усиление и медленное падение, что и раньше. Получается впечатление, будто кто-то подбрасывает охапки топлива в костер через совершенно одинаковые промежутки времени.

Существует еще и другой класс переменных звезд, известных под общим названием «долгопериодических переменных»; у них характер изменений яркости в общем достаточно схож с колебаниями яркости Цефеид. Но оба эти класса легко различаются по продолжительности периодов их колебаний. Цефеиды проходят весь цикл своих изменений в промежуток времени, который может составлять всего несколько часов или же дней или недель; но он никогда не длиннее месяца; у долгопериодических переменных этот промежуток в среднем равен приблизительно году.

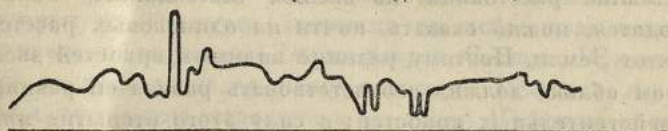
На рис. 7 показаны так называемые «кривые яркости» типичных переменных звезд различных классов. На каждом чертеже горизонтальная прямая есть ось времени: ее точки, слева направо, соответствуют последовательным моментам; волнистая кривая над ней и есть кривая яркости данной звезды; чем выше лежит точка этой кривой

над осью времени, тем ярче звезда в соответствующий момент.

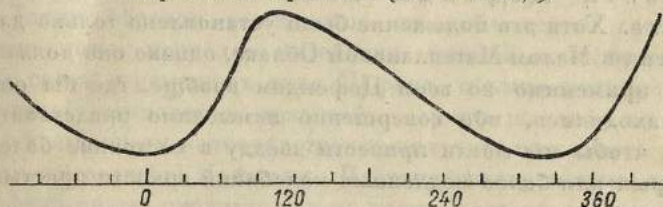
Недалеко за пределами галактической системы нахо-



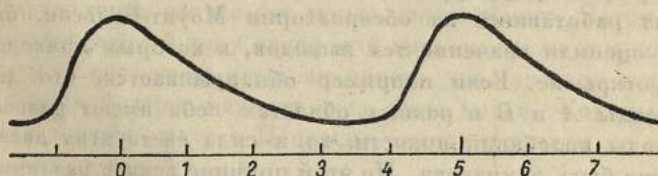
Затменная переменная (β Возничего).



Неправильная переменная (RS Зеносца).



Цефеида (γ Ящерицы).



Долгопериодическая переменная (o Кита).

Рис. 7. Кривые яркости типичных переменных звезд различных классов (по горизонтальной оси—время в сутках).

дится звездное скопление, известное под названием Малого Магелланова Облака (табл. XXI); среди его звезд в большом изобилии имеются переменные типа Цефеид. В 1912 г. мисс Ливитт (Гарвардской обсерватории) уста-

новила, что колебания силы света у более ярких Цефеид в этом облаке происходят медленнее, чем у слабых. В чем бы ни заключалась причина возгораний и затуханий света этих звезд, она действует тут быстрее для слабых звезд, чем для ярких. Конечно, различие в видимых яркостях нескольких Цефеид, находящихся на неодинаковых от нас расстояниях, только отчасти зависело бы от действительной яркости этих звезд; здесь обнаружилось бы и влияние расстояний; но звезды Мателланова Облака находятся, можно сказать, почти на одинаковых расстояниях от Земли. Поэтому разнице видимых яркостей звезд в этом облаке должна соответствовать равная ей разница их действительных яркостей; в силу этого открытие мисс Ливитт имеет тот смысл, что период колебания яркости Цефеиды зависит от ее силы света. Хотя это положение было установлено только для Цефеид в Малом Мателлановом Облаке, однако оно должно быть применимо ко всем Цефеидам вообще, где бы они ни находились, ибо совершенно немыслимо представить себе, чтобы мы могли привести звезду в состояние более быстрых или более медленных колебаний яркости простым изменением ее расстояния от нас.

Проф. Гертцшпрунг из Лейдена и д-р Шэпли, в то время работавший на обсерватории Моунт-Вильсон, быстро оценили значение тех выводов, к которым приводит это открытие. Если например обнаруживается, что две Цефеиды *A* и *B* в разных областях неба имеют равные периоды колебаний яркости, то и сила света этих звезд должна быть одинакова. По этой причине всякое различие в их видимой яркости должно быть отнесено за счет разницы в их расстояниях от нас. Если *A* кажется в сто раз ярче *B*, то *B* должна находиться в десять раз дальше от нас, чем *A*. Подобно этому, третья Цефеида *C* может оказаться в десять раз дальше от нас, чем *B*; мы выводим отсюда, что *C* в сто раз дальше, чем *A*. Мы можем продолжать эти сравнения, строя нашу мерную линейку и все время уве-

личивая ее длину; предела мы не встретим до тех пор, пока не дойдем до расстояний столь огромных, что на них даже переменные типа Цефеид, — а это звезды, обладающие исключительно большой светимостью, — становятся уже совершенно невидимыми.

До сих пор мы говорили только про относительные расстояния Цефеид. Но абсолютные расстояния некоторых ближайших Цефеид были определены параллактическим методом, о котором мы уже упоминали, т. е. измерением их видимого движения на небе, вызываемого годичным обращением Земли вокруг Солнца. Принимая одну из этих звезд за нашу исходную Цефеиду *A*, мы можем постепенно переходить от одной Цефеиды к другой и таким образом вычислить абсолютные расстояния всех переменных типа Цефеид.

Таким образом выведенное из наблюдений соотношение между периодом колебания видимой яркости и силой света переменных типа Цефеид, обычно называемое «законом периодов и яркостей», служит шкалой, по которой мы можем непосредственно получить светимость или силу света любой Цефеиды. Поэтому на переменные типа Цефеид можно смотреть как на маяки, поставленные в удаленных частях вселенной. Мы распознаем их по характеру их света, точно так же как моряк узнает маяки. Затем по наблюдаемому периоду колебаний яркости мы можем определить их силу света столь же просто, как моряк по гидрографической карте находит силу света маяка. Короче говоря, видимая яркость Цефеиды служит мерилем ее расстояния от нас. ☼

☼ Так например, светимость Цефеид, период которых равен 40 часам, приблизительно в 250 раз больше светимости Солнца, т. е. равна 8×10^{20} норм. свечей; период в 10 дней соответствует яркости в 1600 раз большей яркости Солнца, т. е. $5,17 \times 10^{30}$ свечей и т. д. Поэтому, если звезда в каком-либо отдаленном космическом образовании обнаруживает колебания яркости с периодом в 10 дней и по характеру этих колебаний оказывается Цефеидой, мы заключаем, что ее абсолютная сила света равна $5,17 \times 10^{30}$ норм. свечей. Допустим,

Было бы трудно переоценить важность всех этих результатов для современной астрономической науки. Они означают, что найден метод для измерения расстояний если не во всем пространстве, то по крайней мере в тех его частях, где наблюдаются переменные типа Цефеид. Но фактически эта последняя оговорка не имеет большого значения, так как Цефеиды разбросаны почти всюду в пространстве. Разумеется, этот метод имеет наибольшее значение для исследования самых удаленных областей вселенной; именно здесь он празднует свои величайшие триумфы, в то время как иные способы оказываются совершенно неприменимыми. Параллактический метод начинает терять свое значение при попытках промерить пространство глубже чем на сто световых лет. Та видимая орбита, которую звезда, находящаяся на таком расстоянии, описывает в небе вследствие обращения Земли вокруг Солнца, имеет видимые размеры булавочной головки, если смотреть на нее с трех километров. При всей утонченности современных инструментов, обнаружить такое ничтожное смещение — дело достаточно трудное; измерить же его с точностью практически и вовсе нельзя. Но при помощи закона «периодов и яркостей» мы измеряем расстояния небесных объектов до миллиона световых лет, и при этом с меньшей относительной погрешностью, чем применяя параллактический метод к звездам, находящимся на расстоянии всего лишь ста световых лет.

что по наблюдаемой видимой яркости она является звездой 16-й величины; отбрасывая технические детали, это означает, что мы получаем от нее столько же света, сколько от одной свечи с расстояния 917 км. Каково должно быть расстояние до этой звезды, чтобы при ее силе света в $5,17 \times 10^{30}$ свечей мы получили от нее столько же света, как от одной свечи с расстояния 917 км? Так как видимая яркость источника света падает пропорционально квадрату расстояния, то $5,17 \times 10^{30} : x^2 = 1 : 917^2$; получая отсюда x и переводя его в световые годы (1 светов. год $= 9,46 \times 10^{12}$ км), находим, что расстояние этой звезды равно приблизительно 220 000 световых лет.

ПРОМЕРЫ ПРОСТРАНСТВА.

Но этим еще не исчерпан список современных способов измерения расстояний во вселенной. Пусть имеется стандартный класс астрономических объектов, легко отличимых от других объектов и обладающих, где бы они ни находились в пространстве, одинаковой действительной яркостью. Если только эта яркость нам известна, то расстояние каждого отдельного объекта этого класса может быть получено по его видимой яркости.

Переменные типа Цефеид с периодом данной длины представляют собой самый замечательный пример подобных стандартных объектов; но таких типов имеется еще три, хотя, вообще говоря, они менее полезны в этом отношении, чем Цефеиды. Прежде всего мы выделим переменные звезды другого класса, именно «долгопериодические переменные», о которых мы уже говорили; в общем они подобны Цефеидам, за исключением лишь того, что колебания яркости происходят у них значительно медленнее. Звезды этого типа обладают еще гораздо большей светимостью, чем Цефеиды; многие из них в 10 000 раз ярче Солнца. Поэтому они видимы на огромных расстояниях и вероятно дадут впоследствии способ промера таких глубин пространства, на которых мы теперь уже из виду Цефеиды.

Затем имеются «новые» звезды (Novae). От времени до времени обыкновенная звезда внезапно вспыхивает и начинает излучать с феноменальной силой, сияя примерно в тысячу раз ярче, чем обычно. Причина таких бурных взрывов все еще составляет предмет споров; этому явлению до сих пор не дано удовлетворительного объяснения. Однако изучение сравнительно близких к нам новых звезд позволило определить светимость типичной «новой» в максимуме ее блеска; а так как новые звезды появляются в разных частях неба, преимуще-

ственно же во внегалактических туманностях; то отсюда получается приближенный способ измерения расстояний до звезд и туманностей.

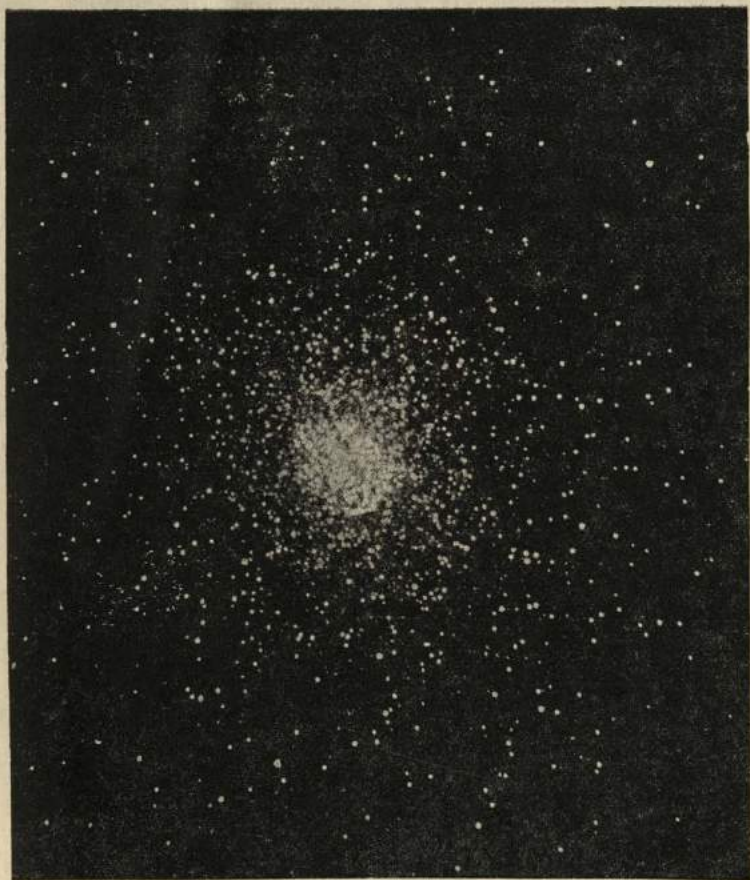
Еще один способ дают голубые звезды. Все они обладают чрезвычайно большой и притом почти одинаковой светимостью. Мало того, светимость любой из них может быть определена более или менее точно по качеству и характеру излучения звезды методом, о котором будет сказано ниже. Это позволяет определять расстояния голубых звезд, а следовательно и тех космических образований, в которых они встречаются.

Скажем еще несколько слов о двух способах несколько иного порядка. Д-р В. Адамс, директор обсерватории Моунт-Вильсон, и другие нашли, что в спектрах звезд некоторых классов имеются специфические особенности, позволяющие определить светимость испускающих их звезд. Отсюда, зная видимую яркость, легко получить и расстояние таких звезд; этот способ известен под названием способа спектроскопических параллаксов.

Наконец, разреженное облако туманной материи, разлитой в межзвездном пространстве (стр. 40), влияет как доказано, на проходящее через него излучение. В силу этого по спектру звезды может быть установлено, через какую толщу этого облака прошел ее луч; на этом основан еще один приближенный способ определения расстояний внутри галактической системы.

Шаровые скопления. Закон периодов и яркостей излучения Цефеид был применен первоначально Гертцшпрунгом для определения расстояния Малого Магелланова Облака; при изучении его, как мы знаем, этот закон и был открыт. Впоследствии Шэпли применил его к определению расстояний тех довольно загадочных групп звезд, которые известны под названием шаровых скоплений. Типичное скопление этого рода представлено на табл. IX; их известно всего около 100; все они достаточно похожи друг на друга, кроме лишь различия по видимым

ТАБЛИЦА IX.



Доминион-обсерватория (Канада).

Шаровое скопление М. 13 в Геркулесе.

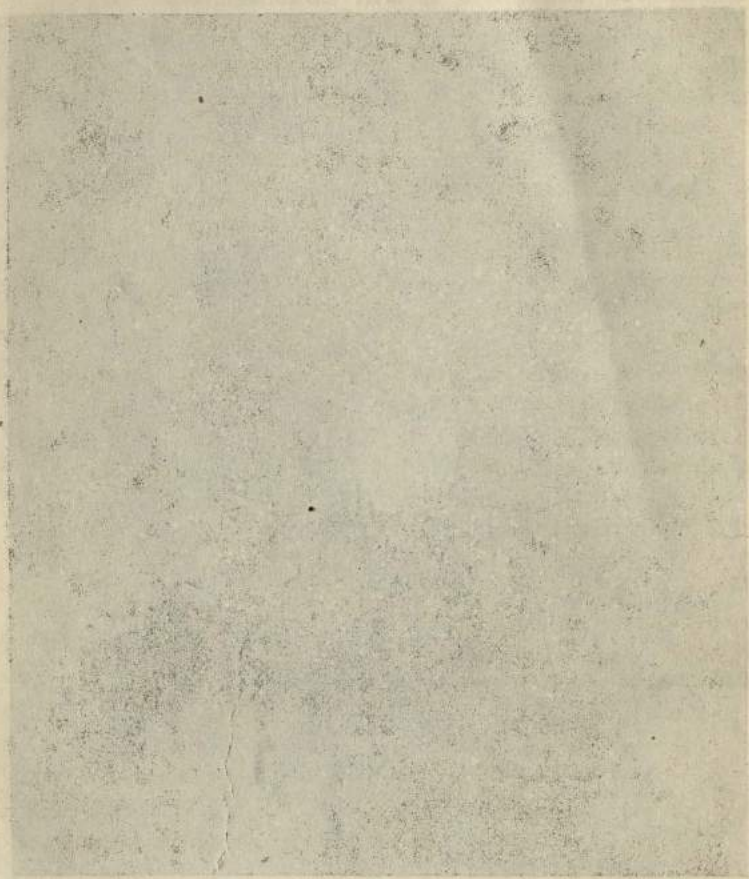


PLATE 11
The above is a photograph of the
manuscript of the 13th century
which is now in the possession of
the British Museum. It is a
very fine example of the work
of the scribes of the 13th century
and is one of the best preserved
of the many manuscripts of the
13th century which are now in
the possession of the British
Museum.

размерам. Но и эти различия объясняются главным образом разницей их расстояний, так что шаровые скопления являются, вероятно, почти тождественными объектами, и потому табл. IX может служить изображением любого из них. Во всех этих скоплениях Цефеиды встречаются в изобилии.

Шэпли нашел, что ближайшее к нам скопление, ω Центавра, находится на расстоянии приблизительно 22 000 световых лет, а самое далекое N. G. C. 7006 — примерно в десять раз дальше, на расстоянии 220 000 световых лет. Для столь удаленных объектов параллактический способ определения расстояний был бы безнадежен. Параллактическая орбита звезды, находящейся от нас в 220 000 световых лет, имеет тот же вид, что булавоочная головка, если смотреть на нее с расстояния в 6000 км; никакой телескоп на Земле не может обнаружить такую орбиту; об измерении ее нечего и говорить.

Конечно, назвать число 220 000 световых лет еще не значит вызвать живое представление о расстоянии этого самого удаленного из скоплений. Быть может, его глубокое значение станет нам несколько ближе, если мы отдадим себе отчет в том, что луч света, в котором это скопление видимо нам в настоящий момент, отправился в свой

длинный путь приблизительно тогда, когда первобытный человек появился на Земле. Через детство, юность и зре-

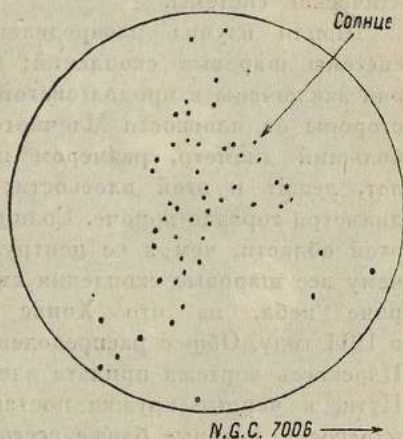


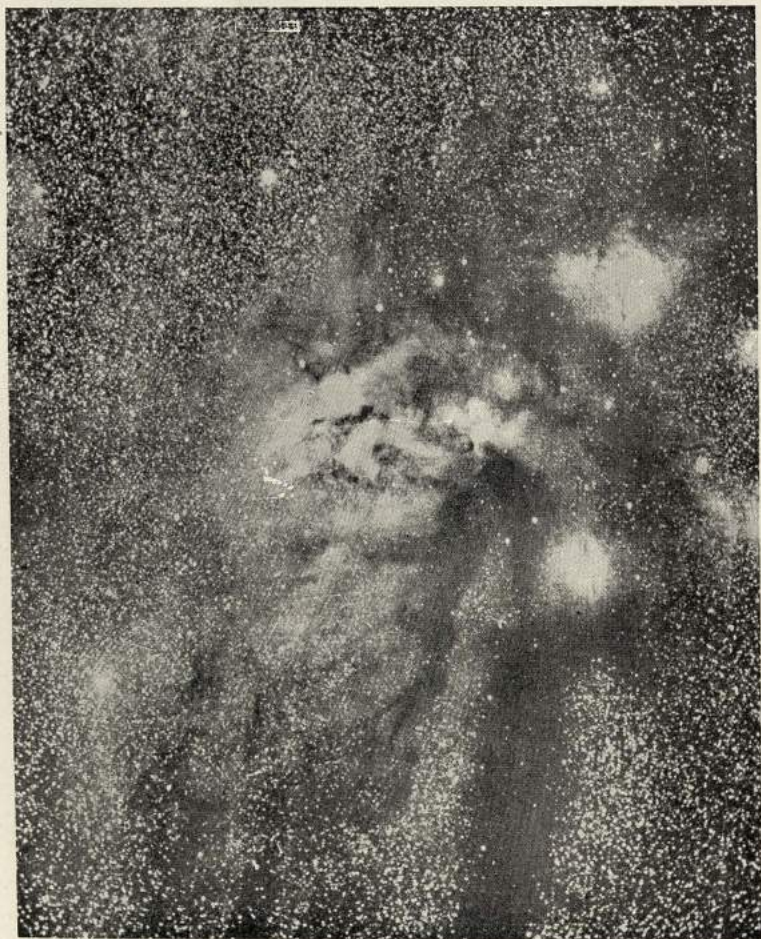
Рис. 8. Распределение шаровых скоплений.

лый возраст бесчисленных поколений людей, через долгие доисторические века, через медленную зарю цивилизаций и через весь промежуток исторических эпох этот луч безостановочно двигался по своему пути со скоростью 300 000 км в секунду, и вот только теперь он доходит до нас. Однако и этот огромный отрезок в пространстве еще не приводит нас к пределам вселенной; мы увидим сейчас, что с ним мы только вплотную подошли к границам галактической системы.

Шэпли изучил распределение в пространстве всей системы шаровых скоплений; по его исследованию все они заключены в продолговатой области, лежащей по обе стороны от плоскости Млечного Пути; при этом ее наибольший диаметр, размером порядка 250 000 световых лет, лежит в этой плоскости; оба других поперечных диаметра гораздо короче. Солнце находится ближе к краю этой области, чем к ее центру, и этим объясняется, почему все шаровые скопления видны только на одной стороне неба, на что Хинкс обратил внимание еще в 1911 году. Общее распределение их показано на рис. 8. Плоскость чертежа принята здесь за плоскость Млечного Пути, и черные кружки поставлены в тех точках этой плоскости, которые ближе всего к соответствующим скоплениям; таким образом наша диаграмма изображает систему звездных скоплений в том виде, какой она имела бы для наблюдателя, смотрящего из внешнего пространства на плоскость галактики в «полный раствор». Все шаровые скопления, за исключением N. G. C. 7006, лежат внутри круга радиусом в 125 000 световых лет; центр этого круга находится приблизительно на расстоянии 50 000 световых лет от Солнца.

Строение галактической системы. Вокруг этой темы шли долгое время горячие споры, но теперь становится очевидным, что та область пространства, которая заключает в себе совокупность шаровых скоплений, в общем совпадает с областью самой галактической системы. Гершель

ТАБЛИЦА X.



Э. Э. Бернад.

Область Млечного Пути около ρ Змееносца.

и Каптейн повидимому ошибались, полагая, что центр галактической системы находится в ближайших окрестностях Солнца; мы имеем теперь ряд указаний на то, что этот центр лежит в массивном звездном облаке в созвездиях Змееносца и Скорпиона. Д-р Шэпли и мисс Суон на Гарвардской обсерватории определили недавно расстояние этого облака от Солнца; оно оказалось равным 47 000 световых лет, так что это облако попадает как раз

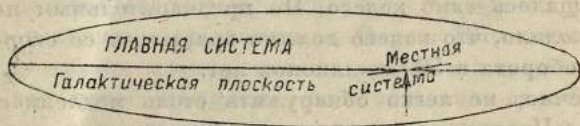


Рис. 9. Схематический разрез галактической системы.
Солнце у острия стрелки.

в центр системы шаровых скоплений, изображенной на рис. 8. Вокруг Солнца, по мнению Шэпли, имеется «местная система» из довольно ярких звезд; ее ошибочно принимали за общую галактическую звездную систему в целом; от этого проистекали все те неясности, которыми до сих пор был осложнен вопрос о строении галактики. Местная система имеет такую же сжатую форму, как и вся галактическая система; однако плоскость ее симметрии не совпадает с галактической плоскостью, но наклонена к ней под углом приблизительно в 12° . На рис. 9 показан поперечный разрез всей системы в том виде, в каком мы представляем ее себе теперь.

Мы уже сравнивали общую форму галактической системы с колесом. Очевидно, она не могла бы сохранить этой формы, если бы звезды, входящие в ее состав, оставались неподвижными в пространстве; в этом случае гравитационное воздействие внутренних звезд заставило бы внешние звезды — обод нашего колеса — устремляться внутрь, так что рано или поздно вся система превратилась

лась бы в беспорядочную толчею звезд вблизи втулки колеса. В 1913 г. Анри Пуанкарэ, профессор математики в Сорбонне, указал на то, что «галактическое колесо» могло бы избежать этой судьбы, если бы оно находилось в состоянии вращения. Подобно тому, как обращение Земли вокруг Солнца не позволяет ей упасть на Солнце, или как движение Луны удерживает ее от падения на Землю, так и звезды, образующие обод колеса, могли бы, по мысли Пуанкарэ, избежать падения на его втулку, если бы вращалось само колесо. По предварительным подсчетам выходило, что колесо должно вращаться со скоростью одного оборота в 500 миллионов лет.

Конечно, не легко обнаружить столь медленное вращение. Первоначально предполагалось, что это может быть достигнуто следующим образом. Мы знаем, что когда волчок или гироскоп приведен в быстрое вращение, требуется приложить значительное усилие для того, чтобы вывести его ось из того положения, в котором она установилась. На этом принципе основано устройство гироскопических компасов, применяемых теперь на кораблях. Гироскоп, нечто вроде большого стального волчка, вращается на оси, которая обоими концами упирается в подвижную рамку; этой рамке обеспечена возможность устанавливаться в любом направлении в пространстве. Однако, приняв определенное положение, эта рамка под действием вращения гироскопа сохранит неизменным свое направление, независимо от поворотов всего корабля; таким образом оказывается возможным определять курс корабля по отношению к этому неизменному направлению. Солнечная система обладает многими свойствами огромного волчка, так как его вращению соответствуют обращения планет. Никаких внешних усилий к этому волчку не прилагается, и потому его ось вращения должна сохранять неизменным свое положение в пространстве, представляя собой как бы некоторый гироскопический компас или указатель направлений во вселенной.

В 1913 г. Шарлье указал, что по его определениям этот гироскопический компас обращается вокруг отдаленного фона Млечного Пути со скоростью одного оборота в 370 миллионов лет — период, который по данным позднейших исследований был увеличен до 530 миллионов лет. Но тогда Эддингтон высказал мысль, что вращение принадлежит пожалуй не гироскопическому компасу, а самому фону, так что фактически вращается весь Млечный Путь, как это предполагал уже Пуанкарэ, и почти с той самой угловой скоростью, которую он определил.

По недавним исследованиям Оорта, Пласскетта, Линдблада и других можно считать окончательно установленным, что такое вращение действительно имеет место, хотя оно и не принадлежит к простому типу вращений «тележного колеса», о которых мы говорили до сих пор. В солнечной системе внутренние планеты движутся быстрее, чем внешние; это необходимо в силу того, что движение каждой планеты должно уравновесить силу солнечного притяжения. Подобно этому, если вращением галактики должно быть уравновешено гравитационное притяжение ее внутренних звезд, то внутренние ее части должны вращаться быстрее, чем внешние. Таким образом Солнце должно обгонять те звезды, которые лежат дальше от центра галактики, чем оно само; обратно, звезды, расположенные ближе к центру системы, чем Солнце, должны его обгонять. Обнаружить такое движение в обгон сравнительно легко; оно было раскрыто тщательным анализом наблюдаемых звездных движений; при этом подтвердилось, что галактика, как целое, вращается именно так, как это было сейчас объяснено; ее внутренние части движутся быстрее внешних.

Втулка этого огромного колеса лежит почти в точности в том направлении, в котором Шэпли, основываясь на своих исследованиях шаровых скоплений, намечал центр галактики. Расстояние ее от Солнца еще не может быть определено с большой точностью; порядок его —

приблизительно 37.000 световых лет. Таким образом в пределах той точности, которая достижима в настоящее время, центр «галактического колеса» совпадает с центром системы шаровых скоплений (рис. 8). Области этого колеса, смежные с Солнцем, совершают полный оборот приблизительно в 230 миллионов лет, и по этой причине звезды, находящиеся вблизи Солнца, обладают скоростями порядка 300 км в секунду, вызванными одним лишь вращением галактики.

Исходя из этих данных, оказывается возможным определить суммарную массу всех звезд галактической системы. Отдельные звезды, значительно удаленные от центра галактики, должны описывать орбиты под действием притяжения всей системы в ее целом; именно это притяжение не позволяет звездам рассеяться в пространстве и обеспечивает таким образом возможность самого существования системы. Совокупность всех этих орбитальных движений и составляет то общее вращение галактики, которое мы теперь изучаем. Но из только что приведенных данных можно вычислить, что общая масса материи, заключенной внутри орбиты Солнца, должна равняться приблизительно 240 миллиардам солнечных масс. Часть этой материи может существовать, разумеется, в виде междузвездного газа или пыли. Однако, имея в виду, что массы отдельных звезд в среднем значительно меньше массы Солнца, мы можем с известным основанием принять число звезд галактической системы равным 400 миллиардам.

Конечно, в это число входят все звезды, не только яркие, но и темные; но мы увидим в дальнейшем (стр. 332), что число темных звезд должно быть сравнительно невелико.

Имеются и другие определения общего числа звезд галактической системы; они приводят, вообще говоря, к числам меньшим, чем только что названное. Так например, по двум определениям Линдблада, общая масса галак-

тики получается равной 110 или 180 миллиардам солнечных масс.

И вот мы снова сталкиваемся здесь с затруднением представить себе наглядно столь огромные числа. При хорошем зрении в безлунную ночь можно насчитать на небе до 3000 звезд. Вообразим теперь, что каждая из этих 3000 звезд рассыпалась на полное число видимых звезд; перед нами будет 9 миллионов звезд — но это всего лишь число звезд, доступных небольшой 5-дюймовой трубе. Повидимому мы не в праве требовать от нашего воображения, чтобы оно снова повторило ту же игру; но если бы это нам удалось и каждая из 9 миллионов звезд снова рассыпалась на 3000 звезд — мы опять получили бы только 27 миллиардов звезд, т. е. число значительно меньшее, чем любая допустимая оценка общего числа звезд галактической системы. Или, иначе, можно заметить, что число звезд, доступных фотографически 100-дюймовому телескопу, а именно $1\frac{1}{2}$ миллиарда, приблизительно равно числу мужчин, женщин и детей во всем мире. Каждому обитателю Земли, — всем мужчинам, женщинам и детям, живущим на пяти материках или странствующим по семи океанам, — мы разрешим выбрать по одной звезде; затем они смогут повторить это занятие десятки, а вероятнее всего и сотни раз, все еще не выходя из пределов галактической системы.

Но это не все; мы можем продолжать исследование пространства вне галактической системы, открывая все новые и новые звезды. Галактическая система с ее миллиардами звезд так же мало исчерпывает всю совокупность звезд мира, как какой-нибудь дом не вмещает всех жителей Британии; ибо имеются миллионы других домов и миллионы других семейств звезд.

Внегалактические туманности. Мы говорили уже про те туманные объекты, которые Гершель называл более или менее предположительно «островными вселенными». Вот они — те дома, в которых надо искать новые семейства

звезд. В сильнейшие современные телескопы можно обнаружить, что эти туманности, по крайней мере частично, состоят из огромных звездных облаков. Подобно тому как в микроскоп видно, что клубы табачного дыма, несмотря на их кажущийся сплошной вид, состоят из облака очень малых, но совершенно раздельных частиц, так сильный телескоп разделяет световые лучи, идущие от внешних частей туманности, на отдельные световые пятнышки; туманность разрешается в облако светящихся частиц, так же как это произошло с Млечным Путем в крошечный телескоп Галилея триста лет тому назад.

Табл. XI дает пример этому; на ней изображена в увеличенном виде небольшая площадь в верхнем левом углу туманности Андромеды, уже показанной на табл. IV; разделение на отдельные светящиеся пятна здесь обнаруживается с очевидностью. Нам известно, что по крайней мере некоторые из этих пятнышек представляют собою звезды, так как мы узнаем в них Цефеиды; их яркость обнаруживает те характерные колебания, которые свойственны переменным этого типа и в наших галактических краях. Другие светящиеся частицы сравнимы с ними по своей яркости; она бывает именно настолько выше или ниже яркости Цефеид, что мы в праве признать в этих пятнышках обыкновенные звезды.

Исходя из наблюденных периодов колебания яркости этих Цефеид и пользуясь другими методами, о которых мы говорили, д-р Хаббл на Моунт-Вильсоне недавно нашел, что даже ближайшая из этих туманностей, именно М. 33 в созвездии Треугольника (табл. XX), находится на таком расстоянии от нас, что свет идет от нее 850 000 лет. Большая туманность Андромеды (М. 31) находится на несколько большем расстоянии — в 900 000 световых лет. Все это достаточно доказывает, что эти туманности лежат далеко за пределами галактической системы, так что применение к ним названия «внегалактических» вполне оправдано.

ТАБЛИЦА XI.



Обсерватория Моунт-Вильсон.

Часть большой туманности М. 31 в Андромеде. Соответствует левому верхнему углу снимка на табл. IV в увеличенном виде.

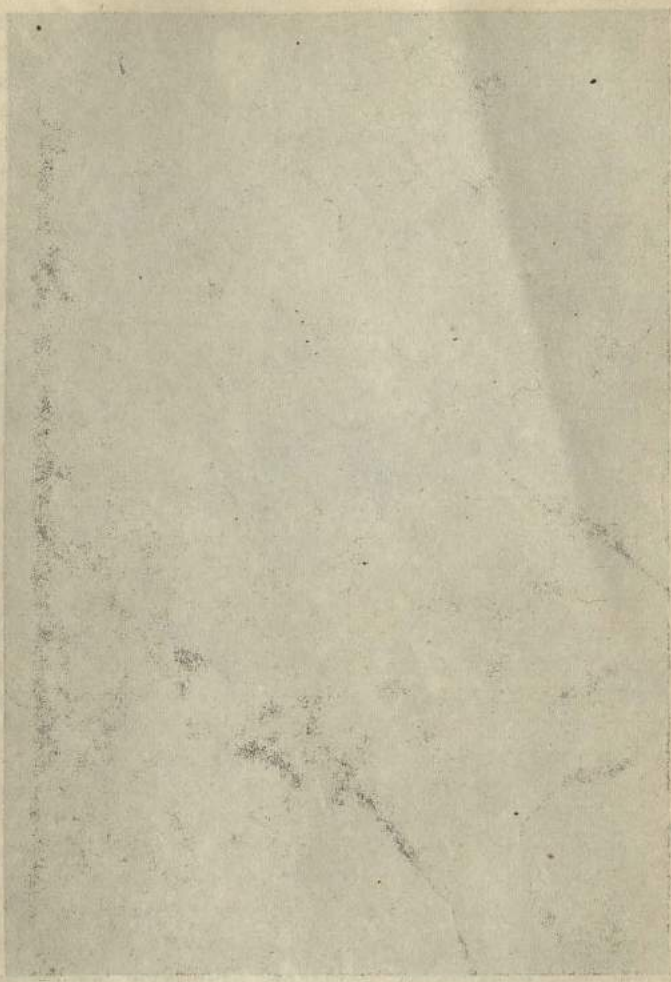
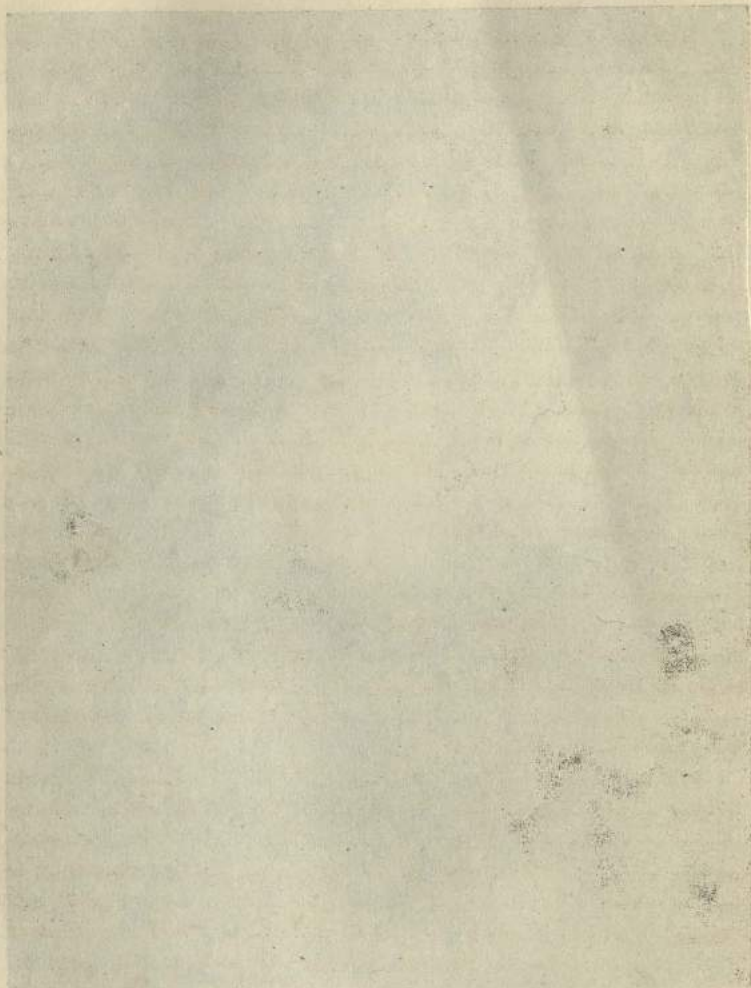


FIGURE 1. Map of the United States showing the distribution of the population in 1900. The map is divided into states and territories, and the population is shown by the number of inhabitants in each. The map is a reproduction of a document with very low contrast, making details difficult to discern.



Обсерватория Моунт-Вильсон.

Центральная область Большой туманности М. 31 в Андромеде,
увеличенная сравнительно со снимком на табл. IV.



...
...
...

...
...
...

Для того чтобы определить общее число звезд в таких туманностях, можно было бы подсчитать, какое число их приходится в среднем на сравнительно небольшую площадку; однако для этого имеются и более точные методы. Подобно тому, как мы предположили, что самые внешние звезды галактики описывают орбиты под влиянием притяжения всей этой системы в целом, так и тут мы должны допустить, что внешние звезды в туманностях описывают орбиты под влиянием притяжения главной массы ее вещества, и что силы, которые не дают этим звездам возможности уйти из туманности, подобны тем силам, которые заставляют Землю двигаться по ее орбите вокруг Солнца. Если это так, то мы можем определить массу туманности тем же способом, каким вычисляется масса Солнца (стр. 71) или галактической системы (стр. 100). Этим путем д-р Хаббл приходит к выводу, что масса большой туманности Андромеды (M. 31), показанной на табл. IV, равна $3\frac{1}{2}$ миллиардам солнечных масс; туманность N. G. C. 4594 в Деве (табл. XV) должна иметь массу приблизительно в 2 миллиарда солнечных масс. Вообще можно считать вероятным, что каждая внегалактическая туманность заключает количество вещества, которого было бы достаточно для образования примерно двух миллиардов звезд.

Но это еще отнюдь не значит, что в каждой туманности уже имеется два миллиарда звезд. Правда, многие туманности этого рода, насколько можно судить, состоят почти сплошь из звездных облаков; однако большинство их заключает в себе также и центральную область, которая еще ни в один телескоп не могла быть разрешена на отдельные точки. Так на табл. XII показана центральная часть туманности Андромеды в том же увеличении, как ее верхний левый угол на табл. XI, и нам совершенно ясно, что эта центральная часть не распадается на отдельные звезды, как внешние области той же туманности на табл. XI. Точно так же вся туманность в Деве, N. G. C.

4594 (табл XV)*, не допускает разложения на отдельные звезды. В дальнейшем (глава IV) мы приведем соображения в пользу того, что центральные области туманностей являются газообразными массами, которые предназначены в будущем образовывать звезды, но которые не осуществили этого до сих пор. Мы найдем действительно, что туманности — это места зарождения звезд, так что каждая из них состоит из звезд уже рожденных и звезд еще не родившихся. И вот, общая масса уже родившихся звезд и вещества, из которого в будущем создадутся звезды, составляет в целом два миллиарда солнечных масс.

В большой 100-дюймовый телескоп нам доступны приблизительно два миллиона таких туманностей. Повидимому они рассеяны в пространстве с известным приближением к равномерности, причем расстояния между ними имеют в среднем порядок двух миллионов световых лет. Однако в отдельных местах равномерность их распределения нарушается наличием облаков и скоплений туманностей. Так например в созвездиях Девы и Волос Вероники имеются области, необычайно богатые туманностями. Здесь находится облако, в котором насчитывается до 300 туманностей; по Шэпли оно занимает пространство всего лишь от 5 до 10 раз больше, чем галактическая система; его расстояние от Солнца равно приблизительно десяти миллионам световых лет. В той же области неба имеются повидимому еще три других, более отдаленных облака. Шэпли высказал предположение, что наша галактическая система, туманность Андромеды и другие близкие к нам туманности могут входить в состав такого же облака туманностей.

Величайшие глубины пространства. По определению Хэббля, самая удаленная из тех двух миллионов туманностей, которые доступны 100-дюймовому телескопу, находится на расстоянии приблизительно 140 миллионов световых лет от нас. Таково наибольшее расстояние, на

которое человеческий глаз мог до сих пор проникнуть в пространство; те 220 000 световых лет, которыми измеряется диаметр галактики, казались нам, по началу, необъятных размеров; но сейчас мы говорим о расстояниях, еще больших почти в 600 раз. За весь свой долгий путь — исключая лишь одну пятисотую его часть — луч, несущий нам весть о бытии этой удаленнейшей туманности, двигался к Земле, на которой человек еще не обитал. Когда этот луч уже почти совсем подходил к Земле, на ней вспыхнула жизнь, появился человек и был построен телескоп для приема этого луча.

По крайней мере так все это представляется в астрономическом масштабе времен. Однако и эта последняя, пятисотая часть его пути перекрывает своей длительностью жизнь 10 000 поколений людей; и не только за это время — за жизнь нашего рода на Земле, но и за все 500 таких промежутков этот луч шел непрерывно вперед, все с той же скоростью 300 000 км в секунду.

Очень много слабых туманностей находятся на самом пределе видимости 100-дюймового телескопа; поэтому несомненно, что более сильный телескоп может раскрыть еще множество их. Новый 200-дюймовый телескоп (который, как можно надеяться, будет скоро построен), имея вдвое большее отверстие сравнительно со 100-дюймовым, должен проникать в два раза глубже в пространство; поэтому возможно, что он обнаружит приблизительно в восемь раз больше, т. е. около 16 миллионов туманностей.

СТРОЕНИЕ ВСЕЛЕННОЙ.

До сих пор с каждым увеличением силы телескопов мы проникали всё дальше в пространство, и нам могло казаться, что оно раскрывается перед нами за последние годы все быстрее и быстрее. Но теперь мы можем спросить себя: должно ли так продолжаться всегда, должно ли расширение пространства происходить бесконечно; не

поставлены ли пространству какие-нибудь пределы вообще?

Еще тридцать лет тому назад, я полагаю, большинство людей науки ответило бы отрицательно на такой вопрос. Они указали бы на то, что пространство может быть ограничено лишь чем-нибудь, что само не есть пространство. Мы — или вернее наше воображение — могли бы встретить препятствие в нашем вечном путешествии по пространству только тогда, когда мы натолкнулись бы на что-то отличное от пространства. Но, как ни трудно вообразить пространство, бесконечное в своем протяжении, однако еще труднее представить себе преграду из чего-то отличного от пространства, которая могла бы задержать наше воображение и не пропустить его в более далекие области пространства за ней.

✓ Но такие рассуждения нельзя признать убедительными. Так например, поверхность Земли имеет ограниченные размеры, однако на ней нет преграды, которая не позволила бы нам двигаться по Земле все дальше и дальше, насколько нам будет угодно. Путешественник, не знающий, что Земля имеет сферическую форму, естественно может думать, что, уходя все дальше от родных краев, он постоянно будет открывать новые области Земли. Однако мы знаем, что со временем ему необходимо придется вернуться на старые места. Хотя земная поверхность, в силу ее кривизны, неограничена, она все же имеет конечный размер.

ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ.

✓ Эйнштейн утверждает, что своей теорией относительности он установил, что и пространство, хотя оно неограниченно, все же имеет конечный размер. Весь объем пространства вселенной имеет конечную величину, подобно тому как и поверхность Земли имеет конечный размер, и по той же самой причине: оба они изгибаются

обратно на самих себя и замыкаются в себе. Эта аналогия действительна и может быть полезной лишь при условии, что мы ограничимся сравнением объема всего пространства с поверхностью Земли, но не с ее объемом. Объем Земли тоже имеет конечную величину, но по совершенно иной причине. Крот, который рыл бы свою нору все глубже и глубже по прямой через толщу Земли, в конце концов дошел бы до чего-то отличного от Земли — он вышел бы на свободный воздух; но мы можем идти беспредельно все дальше и дальше по поверхности Земли и никогда не дойдем до чего-либо, что не является поверхностью Земли. Свойства пространства соответствуют свойствам поверхности, но отнюдь не объема Земли.

Вследствие того, что пространство изгибается само на себя, луч света может путешествовать в нем бесконечно; он никогда не выйдет за пределы пространства во что-то, отличное от пространства; однако он не может двигаться вечно, не возвращаясь при этом на свои прежние пути. По этой причине допустимо, что луч может обогнуть все пространство и вернуться к своей исходной точке, так что, если бы мы направили достаточно мощный телескоп в соответствующую точку полуночного неба, мы могли бы увидеть Солнце и его ближайших соседей в пространстве в тех лучах, которые сделали полный обход вокруг вселенной. Но мы увидели бы их не такими, какими они есть сейчас, а какими они были много миллионов лет тому назад. Луч света, покинувший Солнце столь давно, обошел бы почти все пространство, и как раз в тот момент, когда он кончал бы свой первый круг, он попал бы в наш телескоп вместо того, чтобы начать вторичное путешествие вокруг вселенной.

Кривизна пространства имеет еще иное назначение, сверх того, которое она выполняет в общем космическом масштабе, ограничивая объем пространства. До эпохи Эйнштейна кривизну тех путей, по которым движутся планеты, крокетные шары и снаряды, приписывали дей-

ствию особой «силы» тяготения. Теория относительности отказывается от этой воображаемой силы, как от чистой иллюзии; она приписывает кривизну путей всех этих тел их стремлению держаться прямолинейного пути в кривом пространстве. Правда, это кривое пространство не есть обычное пространство астронома. Это чисто математическое и вероятно совершенно фиктивное пространство, в котором астрономическое пространство и астрономическое время связаны между собой неразрывно и в которое они входят как равноправные участники. Для полной точности надо сказать, что там есть четыре таких участника. Первые три — это три измерения обычного пространства: длина, ширина, глубина — или, если угодно, направления: юг-север, восток-запад и верх-низ; четвертый — это обычное время, измеряемое сообразно тому, как мы измеряем наше пространство (год времени соответствует световому году как отрезку длины и т. д.), и затем помноженное еще на корень квадратный из -1 . Последнее, т. е. умножение на корень квадратный из -1 , есть, конечно, самая замечательная сторона всего дела. Ибо корень из -1 не имеет действительного существования; это то, что математик обозначает как «мнимое» число. Ни одно действительное число не может быть помножено само на себя и дать в произведении -1 . Однако действительное равноправие между временем и пространством получается только в том случае, если измерять время в мнимой единице, равной $(\sqrt{-1})$ лет. Это обнаруживает, что равноправие здесь чисто формальное, — это не больше, как фикция, удобная для математиков. И правда, если бы в нем таилось нечто большее, то наше интуитивное убеждение в том, что время есть что-то существенно отличное от пространства, не могло бы иметь основы в данных нашего опыта и, вероятно, оно исчезло бы уже давно.

Все эти осложнения в отношении времени в сущности не должны останавливать здесь нашего внимания; для нас

главное в том, что по теории Эйнштейна пространство в конце концов изгибается само на себя, как земная поверхность, так что общий объем пространства конечен.

Космология Эйнштейна. По первоначальной теории Эйнштейна размеры пространства определяются тем количеством материи, которое в нем заключено. Чем больше материи, тем меньше должно быть пространство, и наоборот; пространство могло бы быть бесконечным в полном смысле этого слова только в том случае, если бы оно было совершенно пустым. Соответственно этому задача определения размеров пространства сводится к определению того количества материи, которое имеется в нем. У нас нет способов определить, сколько материи может существовать в тех областях пространства, которые находятся за пределами досягаемости наших телескопов; но мы знаем, что внутри этих пределов материя распределена повидимому довольно равномерно в форме внегалактических туманностей.

Исходя из определений масс этих туманностей, Хаббл заключает, что средняя плотность материи в пространстве должна быть порядка $1,5 \times 10^{-31}$, принимая за единицу плотность воды. Если предположить, что материя распределена с такой плотностью во всем пространстве, включая те его части, в которые наши телескопы еще не проникли, то можно вычислить совершенно определенно, что радиус пространства равен 84 миллиардам световых лет, или в 600 раз больше расстояния самой далекой из видимых нами туманностей. Чтобы обогнуть это пространство, световому лучу потребовалось бы 500 миллиардов лет, так что, если мы когда-либо увидим в наши телескопы солнечную систему сзади, то мы увидим ее такой, какой она была 500 миллиардов лет тому назад.

Таким образом по первоначальной теории Эйнштейна расстояние в 140 миллионов световых лет, которое мы теперь можем перекрыть нашими телескопами, составляет лишь малую часть пространства в целом — что-то порядка

одной части на миллиард. Таким образом есть еще вдоволь пространства для грядущих исследователей. И это, пожалуй, неудивительно. Человечество, в распоряжении которого телескоп имелся лишь 300 лет из всех 300 000 лет бытия человека на Земле, едва ли могло надеяться открыть все пространство в столь короткий срок. Путешествуя по глубинам пространства, наши астрономы как бы плывут от острова к острову того архипелага, который окружает их родные края, но они далеко еще не обогнули всей сферы. И подобно тому, как древние географы пытались определить размеры Земли, исходя из кривизны малой части ее поверхности, задолго до того как у них созрел план обогнуть ее целиком, так и теперь астрономы по кривизне той части пространства, с которой они уже знакомы, стремятся составить себе представление — хотя бы и очень неточное — о размерах пространства в его целом.

Общая теория относительности уже давно пережила тот период, когда на нее смотрели лишь как на интересную отвлеченную теорию философского порядка. Она не только разъяснила нам некоторые свойства планетных движений, перед которыми закон тяготения Ньютона оказался бессильным, но она предсказала еще и ряд новых явлений; к ним относятся: видимое смещение звезд вблизи Солнца во время его затмений, вызываемое тем, что лучи от этих звезд искривляются, проходя через гравитационное поле Солнца; затем смещение звездных спектров к красному концу (о котором вовсе не подозревали, когда теория относительности впервые его предсказала), но которое затем было полностью подтверждено наблюдениями. Таким образом эта теория утвердилась к настоящему времени как один из обычных рабочих инструментов астрономии. Она была применена для определения размеров одной слабой звезды, именно спутника Сириуса, и наконец для изучения природы центральных звезд в «планетарных туманностях» (стр. 386).

Тем не менее нельзя сказать, что общая теория относительности приводит нас к космологии Эйнштейна и ни к какой другой. Вполне допустимо, что сама теория верна, но космология неправильна. Здесь дело в том, что общая теория относительности наделяет совершенно определенными свойствами всякую малую часть вселенной, но оставляет открытым ряд возможностей соединения этих частей воедино для образования целого. Поэтому те суждения, которые Эйнштейн высказал в отношении космоса, не могут претендовать на то признание, которое принадлежит общей теории относительности в ее целом. И действительно, значение его космологических учений за последнее время несколько упало, и на смену им приходит повидимому иная космология, которую проф. де-Ситтер предложил в 1917 г. и развил довольно детально.

Космология де-Ситтера. Начнем с выяснения существенных различий между обеими космологиями.

По Эйнштейну размер космоса определяется тем количеством материи, которое в нем заключено. Если допустить, что вселенная содержит вполне определенное количество материи, подчиняющейся определенным физическим законам, то пространство по необходимости должно приспособить свои размеры так, чтобы вместить именно данную материю и никакую больше. Или обратно, если задаться размерами вселенной и определенными физическими законами, то этим с неизбежной необходимостью определится и количество заключенной в нем материи. Вселенная де-Ситтера менее проста; она допускает иные возможности. Считая физические законы данными и назначив пространству произвольные размеры, мы тем не менее можем вложить в его пределы какое угодно количество материи. Формулируя это более научно, мы скажем, что у вселенной Эйнштейна на один произвольный элемент (или, как говорят математики, на один свободный параметр) меньше, чем у вселенной де-Ситтера, так что в этом отношении она выигрывает перед ней в простоте.

Но с другой стороны, эта простота искупается здесь дорогой ценой. Фундаментальным положением всей теории относительности является равноправное участие пространства и времени в том смысле, как мы это выяснили. Космология Эйнштейна достигает своей простоты только в силу предположения, что равноправие времени и пространства исчезает, когда вселенная рассматривается как одно целое. Эта космология предполагает, что время и пространство неразделимы и неотличимы (в указанном выше чисто формальном смысле) только для существа, опыт которого распространяется лишь на ничтожно малую часть всей вселенной; но они становятся существенно различными для того, кто имеет возможность охватить все пространство и время. Однако, нам не вполне ясно, каков вес такого возражения, если это можно считать за возражение вообще.

Реальное пространство и реальное время несомненно отличны друг от друга. (Даже философы, отрицающие реальность того и другого, признают в них две различных формы познания). Так какого же упрека заслуживает космология за то, что она признает, что в последних обобщениях, когда вселенная рассматривается в едином мировом масштабе, время и пространство расслаиваются на две отдельных, различных сущности? Ведь мы откуда-то знали об этом уже раньше — даже раньше, чем мы начали изучать вселенную в этом масштабе.

Каков бы ни был ответ на этот вопрос, космология де-Ситтера не может встретить в этом отношении никаких возражений: она утверждает равноправие пространства и времени не только для отдельных частей космоса, но и для всего космоса в целом. Разумеется, никто не упустит из виду, что мы говорим о равноправном участии всё в том же чисто формальном смысле, так что световой год появляется в космологии под тем же флагом, как и корень квадратный из -1 лет. Ведь даже в космологии де-Ситтера не предполагается, что световой год

(9,46 биллионов км) есть то же самое, что двенадцать месяцев.

Хотя существенная часть теории относительности Эйнштейна была многократно подтверждена опытом, однако из ее космологической части не вытекало никаких следствий, которые могли бы быть проверены непосредственными наблюдениями. Напротив того, космология де-Ситтера предсказывает, что в спектрах всех удаленных объектов должно обнаруживаться смещение к красному концу и что величина этого смещения зависит от расстояния объекта. Равноправное участие пространства и времени выражается здесь в том, что колебания световых волн, излучаемых каким-нибудь определенным источником, должны происходить в отдаленных частях пространства медленнее, чем в близких. Там, где мы случайно находимся, поток времени течет быстрее, чем где нас нет. Это кажется сначала парадоксом, но ближайшее исследование выясняет, что это не парадокс; де-Ситтер вовсе не требует, чтобы мы снова вернулись к геоцентрической системе мира; у него получается, что обитатель далекой звезды тоже нашел бы, что атомы на Земле ведут более медленный счет времени, чем атомы на его звезде. Парадокс совершенно уничтожается с точки зрения относительности всех измерений пространства и времени.

Это смещение спектров к красному концу, как следствие одного лишь расстояния, характерно именно для космологии де-Ситтера. Оно появляется как дополнение к тому смещению, которое должно обнаруживаться в спектре движущегося тела в силу его движения независимо от какой-либо космологии и которое, как мы знаем, происходит к красному концу только в случае удаления от нас источника света (стр. 81). В космологии де-Ситтера оба эти смещения не являются совершенно независимыми, так как для этой космологии существенно, что у тел, близких друг к другу, имеется стремление разойтись на большее расстояние. Подобно тому, как несколько

соломинок, брошенных вместе в реку, как бы стремятся отделиться друг от друга, плывя по течению, так и все предметы во вселенной де-Ситтера рассеиваются всё больше и больше, плывя в потоке времени.

Таким образом в теории де-Ситтера смещение спектральных линий к красному концу нельзя принимать как следствие одного лишь расстояния или как следствие одного движения; это смещение есть комбинация и того и другого. Но это еще не значит, что мы допускали ошибку, определяя лучевые скорости звезд галактической системы по наблюдаемому смещению их спектральных линий. Дело в том, что расстояние само по себе не может вызвать сколько-нибудь заметного смещения спектральных линий, пока это расстояние не является заметной частью радиуса вселенной. Правда, систематические смещения спектральных линий к красному концу обнаруживаются в спектрах самых далеких звезд, но все они очень незначительны. Только при наблюдении самых отдаленных внегалактических туманностей мы могли бы ожидать, что этот эффект обнаружится достаточно отчетливо.

И действительно, уже давно был известен и оставался одной из неразрешенных загадок астрономии тот факт, что спектры далеких туманностей систематически смещены к красному концу. Наблюдаемые смещения здесь не малы. Если их интерпретировать как следствие движения, то для многих туманностей получились бы скорости свыше 1500 км. в секунду. Юмэзон нашел, что две слабые туманности N. G. C. 4860 и 4853 обнаруживают видимые скорости удаления в 7800 и 7400 км в секунду. Обе они входят в состав облака туманностей в Волосах Вероники, которое находится вероятно на расстоянии 50 миллионов световых лет от нас. Совсем недавно было найдено, что спектр одной очень слабой туманности в Большой Медведице указывает на видимую скорость удаления порядка 11 500 км в секунду. Если не признавать

теории де-Ситтера, то получается, что почти все внегалактические туманности панически мчатся от нас со страшными, почти недоступными нашему воображению скоростями. И чем они дальше от нас, тем более стремительно увеличивают они свое расстояние. (Но мы едва ли внесем сюда большое упрощение, приняв теорию де-Ситтера и рассматривая все это видимое бегство туманностей как фиктивное. Действительно, и по теории де-Ситтера туманности могут вполне реально мчаться от нас, так как рассеяние есть необходимое внутреннее свойство всех объектов во вселенной де-Ситтера.)

Большие смещения в спектрах именно самых удаленных туманностей создают известные предпосылки в пользу космологии де-Ситтера; по крайней мере она объясняет их как бы дважды, в то время как все другие космологические теории не могут объяснить их вовсе. Если мы предположительно остановимся на этой космологии, то каждое наблюдаемое спектральное смещение надо будет рассматривать как состоящее из двух частей: одна из них происходит обычным образом в силу отступательного движения туманностей, другая же появляется исключительно за счет их расстояний. ☹

☹ При изучении вопроса о смещениях спектральных линий необходимо иметь в виду, что простейшее и первичное объяснение этого явления дано Допплером в 1841 г.: принцип Допплера гласит, что отношение приращения длины волны светового луча к его нормальной длине равно отношению лучевой скорости источника к скорости света (стр. 81). В теории относительности, — и притом в той форме ее, которая предложена де-Ситтером, — на смену этого положения дается новое: относительное приращение длины волны равно отношению расстояния источника от наблюдателя к «радиусу вселенной»; это эффект расстояний; к нему прибавляется еще «эффект рассеяния», тоже пропорциональный расстоянию источника. Наконец в дополнении, сделанном недавно Лемэтром (см. ниже), отношение расстояния к «радиусу вселенной» умножается еще на отношение скорости изменения «радиуса вселенной» к скорости света. Все это теоретические следствия обобщенной теории относительности (в форме де-Ситтера); насколько трудно было бы найти реальное объяснение для всей совокупности смещений, наблюдаемых в спектрах туманностей и звезд,

По данным предварительного обзора, выполненного д-ром Хэбблем, наибольшие смещения спектров наблюдаются в общем у самых далеких туманностей, и величина этих смещений приблизительно пропорциональна их расстояниям от нас. Если мы будем понимать все эти смещения исключительно как следствие отступательного движения туманностей, то сможем вычислить, что радиус вселенной имеет порядок двух миллиардов световых лет, т. е. приблизительно в 14 раз больше расстояния самой далекой видимой туманности. Но при таком радиусе мира остальная часть смещения, вызываемая одним лишь расстоянием, должна быть совершенно незначительной даже у самых далеких туманностей. Поэтому предположение, которым мы только что воспользовались для вычисления радиуса мира, именно что смещения спектров вызываются одними скоростями удаления туманностей, получает как бы некоторое апостериорное обоснование. Таким образом (если бы только наблюдаемые смещения спектров туманно-

автор подробно объясняет на следующих страницах. Следует еще отметить, что в тех космологических выводах из общей теории относительности, которые дал Эйнштейн (1917), никакой зависимости между смещениями спектральных линий и космологическими элементами («радиус вселенной» и ее масса) не получается. Но в дополнение к простому эффекту движения (Доплера) обобщенная теория Эйнштейна выдвигает еще одно смещение, являющееся эффектом массы источника и его плотности: относительное приращение длины волны пропорционально массе излучающего тела, деленной на ее радиус (множитель пропорциональности равен постоянной притяжения, деленной на квадрат скорости света). Но в астрономии можно воспользоваться этим эффектом (напр. для определения размеров звезды), вообще говоря, только тогда, когда лучевая скорость источника известна; иначе невозможно установить, какая часть наблюдаемого относительного смещения спектральных линий падает на счет эффекта Доплера и какая на эффект Эйнштейна; до настоящего времени это могло быть сделано только для спутника Сириуса (стр. 322), так как, зная лучевую скорость самого Сириуса и скорость движения спутника в орбите, можно было интерпретировать остающееся смещение именно как эффект Эйнштейна. Для одиночных звезд подобное разделение обоих эффектов невозможно (см. также о планетарных туманностях, стр. 386). Прим. перев.

стей были строго пропорциональны их расстояниям от нас) мы достигли бы полного и связного объяснения всех наблюдаемых явлений, приняв, что мы живем во вселенной де-Ситтера с радиусом порядка двух миллиардов световых лет (19×10^{21} км).

Расширяющаяся вселенная. До последнего времени казалось очевидным, что вселенная де-Ситтера исключает вселенную Эйнштейна, и обратно, так как никакая вселенная не может обладать одновременно свойствами вселенной Эйнштейна и вселенной де-Ситтера. Однако недавнее исследование бельгийского математика Лемэтра дало некоторое новое освещение этому вопросу. Лемэтр показал, коротко говоря, что никакая вселенная не может неизменно существовать в виде вселенной, соответствующей космологии Эйнштейна. Вселенная, находящаяся в таком состоянии, есть неустойчивое образование; от самого ее возникновения она должна немедленно начать расширяться, и она не перестанет расширяться до тех пор, пока не превратится во вселенную де-Ситтера. Конечно, и после этого расширение ее будет продолжаться; но теперь оно будет поглощено тем нормальным расширением или рассеянием вселенной де-Ситтера, о котором мы только что говорили.

При наличии подобных результатов нам приходится решать уже не вопрос о том, является ли наша вселенная вселенной Эйнштейна или де-Ситтера, а скорее о том, как далеко прошла наша вселенная по тому пути, который начинается со вселенной Эйнштейна и кончается вселенной де-Ситтера. Каков бы ни был ответ на этот вопрос, нам приходится предположить, что в некоторую отдаленную эпоху туманности находились гораздо ближе друг к другу, чем теперь, ибо с тех пор они подчинялись присущему им свойству рассеиваться в пространстве, или вернее, что они подчинялись рассеивающей силе потока времени; равным образом мы должны принять, что они удаляются друг от друга и от нас со скоростями, пропор-

циональными их расстояниям. Это соответствует выводам Хаббла о том, что видимые скорости удаления туманностей приблизительно пропорциональны их расстояниям от нас. Основываясь на данных Хаббла, Эддингтон высчитал, что радиус исходной вселенной Эйнштейна должен был быть равен приблизительно 1,2 миллиарда световых лет. Если бы видимые скорости удаления туманностей оказались в точности пропорциональными их расстояниям, мы могли бы объяснить все это тем, что мы живем во вселенной, которая начала свое бытие как вселенная Эйнштейна, с радиусом в 1, 2 миллиарда световых лет, которая к настоящему времени расширилась до радиуса порядка 2 миллиардов световых лет и обречена продолжать свое расширение на все будущие времена.

Это дает простую и пожалуй увлекательную картину нашего мира; однако есть много оснований сомневаться в том, что картина эта правильная. Прежде всего, если мы будем интерпретировать спектральные смещения как доказательство одних лишь скоростей движения туманностей, то, вероятно, нам придется признать, что скорости далеко не являются в точности пропорциональными их расстояниям (как это требовалось бы для только что обрисованной картины вселенной). Известна группа из трех туманностей, находящихся от нас на одном и том же расстоянии порядка 50 миллионов световых лет, у которых скорости движения отличаются приблизительно на 3000 км в секунду (среднее из этих трех скоростей равно 8000 км в секунду). Оорт нашел, что у скоростей весьма далеких туманностей обнаруживается как бы тенденция не подчиняться условию пропорциональности их расстояниям. На расстояниях от 20 до 40 миллионов световых лет видимые отклонения скоростей составляют в среднем 750 км в секунду (впрочем, еще не выяснено, в какой мере эти расхождения могут быть отнесены за счет недостаточной точности определения расстояний столь далеких туманностей). Таково первое возражение. Вто-

рое состоит в следующем: предположив, что спектральные смещения обусловлены исключительно рассеянием, мы можем определить, сколько времени прошло с тех пор, как это рассеяние началось; получается, что оно длится несколько миллиардов лет. Но как ни огромен такой промежуток времени, для нас он недостаточно велик. Мы увидим дальше (глава III), что время оставляет свой след, свои морщины и седины даже на звездах, так что оказывается возможным определить их возраст с приемлемой точностью; все говорит за то, что этот возраст измеряется не миллиардами, но биллионами лет. Таким образом, если наблюдаемые теперь скорости удаления туманностей следует приписать исключительно их рассеянию, то оказывается, что звезды должны были прожить значительную часть их жизни прежде чем это рассеяние началось. Но такая гипотеза слишком искусственна, чтобы мы могли остановиться на ней, по крайней мере пока не исключены еще и другие возможности.

Конечно, мы должны открыто признать, что наше определение возраста звезд быть может потребует пересмотра.

И действительно, оно было получено в предположении, что сколько-нибудь значительное рассеяние, подобное тому, какое требуется по космологии де-Ситтера, никогда не имело места в действительности. Но если не только туманности, но и звезды, входящие в состав галактической системы, были когда-то как бы сбиты все вместе в одну кучу, то наши оценки возраста звезд могли бы быть значительно сокращены и даже доведены (хотя мне это кажется очень невероятным) до тех пределов, которые получены сейчас, т. е. всего лишь до нескольких миллиардов лет; но во всяком случае они не могли бы быть столь существенно сокращены, если бы радиус вселенной был когда-либо хотя отдаленно равен тем 1,2 миллиардам световых лет, как это получилось по определению Эддингтона.

Тем не менее по космологиям де-Ситтера и Лемэтра несомненно требуется, чтобы современная нам вселенная расширялась, чтобы туманности удалялись и друг от друга и от нас, в силу чего в их спектрах должны обнаруживаться смещения к красному концу. Однако ничто не побуждает нас отождествлять эти смещения с теми, которые наблюдаются в действительности. Многие иные условия, отличные от отступательного движения, могут вызвать смещение спектральных линий к красному концу; и разумеется лишь после того, как мы учтем все то смещение, которое следует отнести за счет этих разнообразных причин, мы будем в праве утверждать, что остаточное смещение представляет собой действительно эффект отступательного движения.

Недавно д-р Цвикки в Пасадене высказал предположение, что вся гравитирующая материя, разлитая в мировом пространстве, может вызвать удлинение волн (т. е. смещение к красному концу) всех световых лучей, проходящих через пространство. Цвикки дает динамическое обоснование своей теории, вычисляет величину спектральных смещений, которых можно было бы ожидать у лучей, доходящих к нам от туманностей, и находит, что ими можно, в сущности говоря, объяснить почти целиком все наблюдаемые смещения. Вполне допустимо, что наблюдаемые смещения в спектрах туманностей могут быть в значительной своей части объяснены именно этой или иной подобной ей причиной, так что только очень малая часть этих смещений будет представлять собой действительное отступательное движение. Но если так, то мы можем увеличивать возраст вселенной беспрестанно, и ничто не мешает нам назначить звездам весьма долгий возраст, необходимость которого повидимому вытекает из общих выводов современной астрономии. Об этом мы будем говорить подробно в III главе.

В космологии де-Ситтера, в ее первичной форме, луч света должен был идти бесконечно долгое время, чтобы

обойти всю вселенную; это лишило бы нас возможности видеть какой-либо небесный объект в лучах, прошедших длинный кружный путь. Происходит это оттого, что де-Ситтер имел в виду только предельный случай пространства, совершенно свободного от всякой материи. Но если во вселенной имеется хоть немного материи, путь светового луча должен изогнуться сам на себя и возвратиться к исходной точке через конечное время. Были сделаны совершенно серьезные указания на то, что две слабые туманности (h 3433 и M. 83) могут быть обеими ближайшими к нам туманностями M. 33 и M. 31, на которые мы смотрим кружным путем через все пространство. Если это так, то мы видим те же самые объекты спереди, когда наблюдаем M. 33 и M. 31, и сзади, когда направляем телескоп в диаметрально противоположные точки и наблюдаем h. 3433 и M. 83. Несомненно, это не больше как предположение и, пожалуй, довольно дикое, но в астрономии было много еще более изумительных предположений, которые впоследствии оказывались правильными.

Все эти рассуждения о строении вселенной, конечно, в высокой степени отвлеченны, но их совокупность приводит к общему выводу, что если мы еще не в состоянии видеть все пространство в целом, то по крайней мере мы можем исследовать уже значительную его часть. Астрономы до сих пор еще не завершили плавания вокруг всей сферы; но, пожалуй, они подходят теперь к Америке, и мы можем легко вообразить, что уже следующее поколение закончит кружный путь по пространству и что представление о конечном, но неограниченном пространстве будет доступно ему столь же просто и легко, как для нас теперь представление о конечной, но неограниченной поверхности Земли.

МОДЕЛЬ ВСЕЛЕННОЙ.

Мы испытали уже основательное затруднение, стараясь представить себе наглядно те $4\frac{1}{4}$ световых года, которыми измеряется расстояние до ближайшей звезды; поэтому лучше будет даже и не пытаться представить себе последнее из полученных расстояний, т. е. миллиарды световых лет, которыми измеряется предполагаемая окружность вселенной. Однако, нам удастся быть может обозреть все эти расстояния в правильной пропорции относительно друг друга, построив модель в некотором масштабе; мы избежим всех трудностей, возникающих при попытке создать себе картину этих невообразимых расстояний, если выберем масштаб нашей модели достаточно мелким.

Земля, двигаясь в 1200 раз быстрее скорого поезда, описывает ежегодно вокруг Солнца путь длиной в один миллиард километров. Представим себе этот путь в виде булавочной головки диаметром в 2 мм. Этим определяется масштаб нашей модели; Солнце сократится в ней до крошечной пылинки диаметром в 0,01 мм. Земля изобразится в ней пылинкой, настолько малой, что ее нельзя будет рассмотреть в самый сильный микроскоп. В этом масштабе ближайшая к нам звезда, *Proxima Centauri*, должна быть помещена на расстоянии 200 м, а для того, чтобы вместить хотя бы сто ближайших к Солнцу звезд, наша модель должна иметь полтора километра в высоту, столько же в длину и в ширину.

Будем продолжать постройку нашей модели. Мы можем считать, что все звезды без различия имеют в ней вид пылинок, так как в этом масштабе размеры их колеблются приблизительно в той же мере, как и размеры пылинок. В ближайших к Солнцу областях эти пылинки придется помещать на расстоянии примерно $\frac{1}{2}$ км друг от друга. В других частях пространства их расстояния,

вообще говоря, еще больше, так как из-за наличия «местного скопления» ближайшие окрестности Солнца являются, можно сказать, довольно густо заселенной частью неба. Мы продолжаем строить нашу модель на сотни километров по всем направлениям, и тут, если мы идем в направлении достаточно удаленном от плоскости галактики, плотность пылинок начинает убывать; мы приближаемся к пределам галактической системы. Но в самой плоскости галактики мы должны расширить нашу модель до 10 000 км, прежде чем дойдем до самого далекого шарового скопления; но и тут мы остаемся все еще внутри галактической системы. Если длинный годичный путь Земли изображается в нашей модели булавочной головкой, то вся система галактики выходит в ней размером примерно в американский континент. Быть может, здесь имеет смысл остановиться на минуту и, прежде чем продолжать постройку модели, попробовать наглядно представить себе относительные размеры булавочной головки и американского материка.

Покончив с галактической системой, мы должны продвинуться на 45 000 км, и только затем начать строить ее дальнейшую часть; на этом расстоянии нам надо поместить следующее семейство звезд, которое вероятно существенно меньше и более компактно, чем наша собственная галактическая семья, но во всяком случае сравнимо с ней и по размеру и по числу звезд. Так надлежит нам продолжать постройку модели, по семьям в миллиарды звезд через каждые 45 000 км или около того, пока мы не наберем двух миллионов таких семейств. Теперь уже эта модель простирается по всем направлениям примерно на 6 миллионов км. Это представляет собой ту часть пространства, в которую проникают наши телескопы; мы можем представить себе, что модель уходит еще в иные дали, хотя мы не знаем ни куда, ни как; единственно, что нам известно, это то, что построенное нами до сих пор представляет только часть вселенной.

Каждая галактическая система, или каждая островная вселенная, или каждая внегалактическая туманность заключает в себе миллиарды звезд или же достаточно газообразной материи, чтобы в будущем образовать миллиарды звезд, и нам известно до двух миллионов подобных туманностей. Таким образом в пределах пространства, доступных 100-дюймовому телескопу, заключаются тысячи биллионов звезд, и это число нужно увеличить еще во много раз, чтобы учесть неизведанные части пространства. По скромному подсчету, общее число звезд во вселенной должно быть близко к числу пылинок в Лондоне. Если теперь вообразить себе Солнце еще меньшим по размеру, чем одна из этих пылинок, а Землю — как миллионную часть такой пылинки, то отношение между нашим жилищем в пространстве и остальной вселенной представится нам, пожалуй, под видом наиболее яркой картины, какую только действительно в состоянии охватить человеческий мозг.

При постройке нашей модели мы могли бы идти иным путем, именно взять все пылинки Лондона и выносить их за его пределы соответственно расстояниям различных звезд в пространстве. Среднее расстояние пылинок в Лондоне есть малая доля миллиметра; чтобы получить нашу модель в верном масштабе, надо увеличить эти расстояния примерно до $\frac{1}{2}$ км, даже если мы строим ту часть модели, которая изображает густо населенную область пространства в окрестностях Солнца. Строя нашу модель таким приемом, мы получаем яркое впечатление о пустоте пространства. Уберите из огромного вокзала Уотерло-Стэшен все, что в нем есть, оставив только шесть пылинок, и все-таки он будет еще гораздо больше заполнен пылью, чем пространство звездами. Это справедливо даже в отношении сравнительно более заселенной области внутри галактической системы; здесь еще не учтены огромные пустоты между нашей звездной системой и ближайшими к ней. Если взять среднюю плотность по всей нашей мо-

дели, то расстояние каждой пылинки от ее ближайших соседей окажется порядка 130 км.

Вселенная состоит в целом не из звезд, но из безнадёжной пустоты — это непостижимо огромные пустыни пространств, в которых появление звезды есть редкое и исключительное явление.

Допустим в воображении, что мы выбрали место в пространстве где-то недалеко от Солнца и наблюдаем, как звезды движутся мимо нас в 1000 раз быстрее скорого поезда. Если бы пространство было действительно заполнено звездами, такое положение было бы столь же незавидно, как если бы мы остановились посреди одной из центральных артерий Лондона и стали наблюдать, как идет уличное движение: наша жизнь, хотя и полная сильных ощущений, кончилась бы здесь очень скоро. Но, как показывает точное вычисление, звездное движение настолько слабо, что нам пришлось бы ждать триллион (10^{18}) лет, прежде чем на нас налетит звезда. Иными словами, вычисление показывает, что каждой звезде дана возможность странствовать около триллиона лет, прежде чем она столкнется с другой. Звезды движутся в пространстве вслепую, и участников этой звездной игры в жмурки так мало и они так далеки друг от друга, что вероятность столкновений у них ничтожно мала. Мы увидим в дальнейшем, какое глубокое значение принадлежит этому представлению в нашем познании вселенной.

ГЛАВА ВТОРАЯ. ☉

ИССЛЕДУЕМ АТОМ.



о сих пор наше изучение вселенной шло в направлении от человека к вещам бóльшим, чем человек; мы раскрывали в пространстве безмерные дали, перед которыми и человек и его жилище в пространстве обнаруживали, как карлики, свою совершенную незначительность. Однако мы исследовали вселенную только на протяжении одной ее половины; почти такая же часть в направлении бесконечно малого ждет теперь нашего изучения.

Бесконечное богатство окружающего нас мира раскрывается нам только наполовину, пока мы не расширим пределов исследования вплоть до мельчайших частиц материи. Такие проблемы стоят перед современной физикой, и в работе над ними она достигает величайших успехов.

Быть может, нам поставят вопрос: почему собственно обзор новой астрономии должен включать главы, где вселенная изучается с другого конца?

Ответ на это — в том, что звезды представляют собой нечто большее, чем огромные массы косной материи; это — машины на ходу; они вырабатывают и испускают то излучение, в свете которого мы их видим.

Мы уясним себе лучше механизм их действия, если изучим, как вырабатывается и испускается излучение на Земле, а эта задача приводит нас прямо к центру современной атомной физики. Разумеется, мы не можем дать в нашей книге исчерпывающего изложения этой новой

области знания и ограничимся поэтому только теми отделами, которые важны для понимания астрономических явлений.

АТОМНАЯ ТЕОРИЯ.

Уже в V веке до н. э. философская мысль греков напряженно работала над вопросом о том, является ли первичная субстанция всех вещей в ее основе прерывной или нет. Мы стоим у берега моря; вокруг нас расстилаются дюны песку: на первый взгляд их строение кажется нам непрерывным, но, присматриваясь ближе, мы видим, что они состоят из отдельных зерен или частиц. Перед нами катит свои волны океан; на первый взгляд и он тоже представляется нам непрерывным, но оказывается, что разбить его на отдельные зерна или частицы нельзя. Мы можем разделить его на капли, но каждая из них может быть подвергнута дальнейшему делению, и нет оснований считать, что этот процесс дробления не может быть продолжен без конца. Вопрос, волновавший греческих философов, сводится в сущности к тому, что дает более верную картину конечного строения материи во вселенной: воды океана или песок на его берегу.

Школа Демокрита, Левкиппа и Лукреция верила в конечную прерывность материи; она учила, что всякое вещество, подвергнутое дроблению достаточное число раз, в конце концов распадается на отдельные твердые частицы, дальнейшее деление которых невозможно. С их точки зрения песок дает более правильную картину конечного строения материи, чем вода, потому что — по их мнению — процесс дробления, повторенный достаточное число раз, обнаружил бы и у воды зернистое строение, подобное песку. И это интуитивное предположение древних мыслителей в современной науке подтверждается полностью.

Действительно, поставленный только что вопрос можно считать решенным всякий раз, когда оказывается, что тонкий слой вещества обнаруживает свойства, существенно

отличные от свойств несколько более толстого его слоя. Если слой желтого песка рассыпан равномерно по красному полу и если этого песку достаточно, чтобы толщина слоя равнялась по крайней мере толщине одного зерна — весь пол будет казаться желтым. Но если песку имеется только вдвое меньше, чем надо, — красный цвет пола будет неминуемо просвечивать; невозможно рассыпать песок равномерным слоем толщиной в ползерна. Такое внезапное изменение свойств песчаного слоя есть, конечно, следствие зернистого строения песка.

Подобные же изменения обнаруживаются и в свойствах тонких слоев жидкостей. Чайная ложка супа покроет дно глубокой тарелки, но отдельная капля его даст только неопрятное пятно. В некоторых случаях оказывается возможным точно измерить ту толщину слоя, при которой свойства жидкости начинают изменяться. В 1890 г. Рэлэй нашел, что тонкие пленки прованского масла, плавающие по поверхности воды, совершенно изменяют свои свойства, как только толщина пленки уменьшается до миллионной доли миллиметра. Очевидное объяснение этого явления, подтверждаемое в бесчисленных опытах, заключается в том, что прованское масло состоит из отдельных частиц, аналогичных «зернам» в куче песка, и что диаметр этих частиц близок к одной миллионной доле миллиметра.

Каждое вещество состоит из таких «зерен». Они называются молекулами, и материя обладает обычными свойствами, когда ее слой имеет толщину в несколько молекул; о свойствах слоев более тонких, чем отдельная молекула, знают только физики в их лабораториях.

МОЛЕКУЛЫ.

Но как разбить вещество на его предельные «зерна», т. е. молекулы? Ученому легко сказать: если дробить воду достаточно долго, мы придем к зернам, которые уже

больше не могут быть раздроблены; однако всякий был бы рад видеть, как это делается.

По счастью, это делается крайне просто. Возьмите стакан воды и начните ее подогревать; вода станет испаряться. Что это значит? Это означает, что вода разбилась на свои предельные «зерна» или молекулы. Если бы такой стакан с водой можно было поставить на достаточно чувствительные пружинные весы, мы заметили бы, что процесс испарения происходит не непрерывно, слой за слоем, но толчками, по одной молекуле. Мы обнаружили бы, что вес воды изменяется скачками, причем каждый скачок соответствует весу отдельной молекулы. В стакане может находиться любое количество молекул, но никоим образом не дробное; если и существуют дробные части молекул, то во всяком случае они не играют никакой роли в процессе испарения воды.

Газообразное состояние. Молекулы, отрывающиеся от поверхности воды при ее испарении, образуют газ — водяной пар. Газ состоит из огромного числа молекул, летающих совершенно независимо друг от друга, за исключением тех редких случаев, когда две молекулы сталкиваются и таким образом действуют взаимно на их движения. Частота столкновений молекул должна, очевидно, зависеть от их размеров; чем крупнее молекулы, тем чаще будут происходить столкновения и тем сильнее будет их влияние на молекулярные движения. И действительно, степень этого взаимодействия дает лучший способ для определения размеров молекул. Они оказываются чрезвычайно малыми; большинство из них имеет диаметр порядка $\frac{1}{4000000}$ мм; как правило, простые молекулы обладают меньшим диаметром, чем более сложные, как и следовало ожидать. Молекула воды имеет диаметр около $4,6 \times 10^{-8}$ см, в то время как более простая молекула водорода — только немного больше $2,7 \times 10^{-8}$ см. Тот факт, что разнообразные методы определения диаметров молекул приводят к одинаковым результатам, является

прекрасным доказательством реальности их существования.

Так как молекулы столь необычайно малы, они должны быть и чрезвычайно многочисленны. Один литр воды содержит $3,33 \times 10^{25}$ молекул, из которых каждая весит 3×10^{-23} г. Если расположить эти молекулы одну за другой, получилась бы цепь, которой можно было бы охватить Землю больше чем 200 миллионов раз. Если рассеять их по всей суше на земле, то на каждый квадратный сантиметр пришлось бы приблизительно по 15 миллионов молекул. Если вообразить, что молекулы суть крошечные зерна, то общее количество таких зерен, нужное для того, чтобы засеять всю землю по 15 миллионов молекул на каждый квадратный сантиметр, могло бы поместиться в кружке объемом в литр.

Молекулы движутся с очень большими скоростями. В обыкновенном комнатном воздухе средняя скорость молекул равна приблизительно 450 м в секунду. Это примерно та же скорость, что у ружейной пули, и несколько больше скорости звука в обычных условиях. Но движение звука есть самое обыденное для нас явление; поэтому нетрудно составить себе и некоторое представление о скоростях движения молекул в газе. И то обстоятельство, что эти скорости (движения звука и движения молекул) имеют величину одного порядка — отнюдь не случайное совпадение. Звук представляет собой возмущение, которое одна молекула передает другой при их столкновении, подобно эстафете, которую один гонец получает от другого, или подобно факелу Артемиды, который участники древних игр передавали друг другу. Между двумя столкновениями наша звуковая эстафета переносится в точности с той скоростью, с какой движутся молекулы. И потому, если бы все они двигались с одной и той же скоростью и в одном направлении, то разумеется с той же скоростью передавался бы и звук. Но многие молекулы движутся в сторону от главного направления, так что скорость дей-

ствительного продвижения самого звука в воздухе при обычных условиях составляет только 338 м в секунду, несмотря на то, что средняя скорость движения отдельных молекул равна, как сказано, 450 м в секунду.

При высоких температурах молекулы обладают еще большими скоростями; так молекулы пара в котле могут двигаться со скоростью километра в секунду.

Большие скорости движения молекул являются причиной сильных давлений, оказываемых газами; всякая поверхность, соприкасающаяся с газом, находится под градом молекул, из которых каждая движется со скоростью ружейной пули. Так поршень в цилиндре паровоза бомбардируется каждую секунду примерно 14×10^{28} молекулами. Эта непрерывная бомбардировка бесчисленными крошечными пулями толкает поршень в цилиндре и этим приводит в движение весь поезд. При каждом нашем дыхании рои в триллионы (10^{18}) молекул проникают в наше тело, двигаясь со скоростью 450 м в секунду, и только их непрерывные удары о стенки легких предохраняют наши грудные клетки от сжатия и разрушения.

Пожалуй, лучшим представлением, которое мы можем составить себе о газе, будет картина непрерывного града снарядов или ружейных пуль, летящих без разбора по всем направлениям и налетающих довольно часто друг на друга. В обычном газе каждая молекула испытывает в секунду до 3 миллиардов столкновений, и пробег ее между двумя последовательными столкновениями не превышает в среднем $\frac{1}{8000}$ мм. Если подвергнуть газ сжатию и следовательно увеличить его плотность, то число молекул в данном объеме возрастет; поэтому столкновения их участятся, и длина так называемого «свободного пробега» между ними сократится. Наоборот, если понижать давление и следовательно уменьшать плотность газа, столкновения станут реже и длина свободного пробега увеличится. При наиболее высоких разрежениях, достигаемых в настоящее время в лабораториях, молекула

может пробегать без столкновения с другой до 90 м, хотя число их в кубическом сантиметре все еще достигает 4 миллиардов.

В астрономических условиях могут иметь место и значительно меньшие плотности. Так в некоторых туманностях молекулы могут пробегать без столкновений миллионы километров: настолько мало их количество в данном объеме пространства.

Можно подумать, что под влиянием этих столкновений летящие молекулы должны были бы быть скоро прибиты к покою; это несомненно произойдет с ружейными пулями, но отнюдь не с молекулами газа, по причинам, которые мы сейчас поясним.

Энергия. Количество пороха, нужное для выстрела из ружья, может служить мерой «энергии движения», сообщаемого пуле. Для выстрела пуль двойного веса потребуется двойное количество пороха, так как энергия движения пули, равно как и всякого другого движущегося тела, пропорциональна его массе. Но для того чтобы сообщить той же пуле вдвое большую скорость, двойного заряда будет недостаточно. Для этого потребуется вчетверо больше пороха, так как энергия движущегося тела пропорциональна квадрату его скорости. Это хорошо известно каждому шоферу: если тормоз останавливает машину за 3 м при скорости в 15 км в час, то при двойной скорости в 30 км в час машину можно остановить не за 6, но за 12 м. При удвоенной скорости для остановки требуется учетверенное расстояние, в силу того, что двойная скорость соответствует учетверенной энергии движения. В общем энергия движения всякого тела пропорциональна его массе и квадрату его скорости. [⊗]

[⊗] Это выражается математической формулой для энергии движущегося тела: $E = \frac{1}{2} mv^2$, где E — энергия, m — масса, а v — скорость. Если m измеряется в граммах, а v в сантиметрах в секунду, говорят, что энергия движения тела с массой m равна $\frac{1}{2} mv^2$ эргов. Таким образом «эрг» есть энергия движения тела с массой в 2 г (так что

Одним из наиболее важных достижений физики XIX века было установление так называемого «принципа сохранения энергии». Энергия может существовать в различных видах, она может почти бесконечно переходить из одного вида в другой, но никогда не может быть уничтожена совершенно. Если движущееся тело останавливается, его энергия не исчезает, но только переходит в другую форму. Когда пуля ударяет в мишень, часть энергии ее движения идет на нагревание мишени, а часть — на нагревание и пожалуй даже на оплавление самой пули; в этом новом тепловом состоянии остается в точности столько же энергии, сколько было в первоначальном движении пули.

Согласно тому же общему принципу энергия не может быть создана; вся существующая энергия должна была существовать вечно, хотя быть может и в форме, совершенно отличной от той, в какой она имеется перед нами теперь. Так например порох содержит большое количество энергии, накопленной в форме энергии химической, и надо соблюдать известные предосторожности, чтобы эта закупоренная энергия не вырвалась внезапно на свободу и не причинила бы разрушений — не взорвала сосуда, в котором она заперта, не разбросала предметов на воздух и тому подобное. Винтовка является в сущности приспособлением для освобождения энергии, заключенной в данном заряде пороха, и для превращения возможно большей ее части в энергию движения пули. При стрельбе в цель определенное количество энергии, соответствующее данному заряду пороха, переходит из формы химической энергии прежде всего в энергию движения (как самой пули, так, в меньшей степени, винтовки при ее отдаче)

$\frac{1}{2} m = 1$), движущегося со скоростью одного сантиметра в секунду. Например энергия курьерского поезда весом в 300 тонн (3×10^5 г), идущего со скоростью 97 км в час (2682 см в секунду), равна 1079×10^{14} эргов; орудийный снаряд или граната, весом в 1 тонну, движущиеся со скоростью 463 м в секунду, обладают такой же энергией.

и наконец в тепловую энергию — частью пули на излете, частью же мишени. Здесь перед нами пример энергии, меняющей в быстрой последовательности три различные формы. Всю жизнь вселенной можно рассматривать как проявление энергии в масках ее различных форм, и все изменения во вселенной — как поток энергии, которая переливается из одной формы в другую, но всегда остается в том же количестве. Таков великий закон сохранения энергии.

В качестве примеров наиболее обычных нам форм энергии можно указать на электрическую энергию, какова энергия заряженного аккумулятора или грозовой тучи; на механическую энергию, например у заведенной пружины карманных часов или у поднятой гири стальных; на химическую энергию, скрытую в угле, дровах или нефти; на энергию движения летящей пули и наконец на энергию тепловую, которая появляется, как мы видели, когда ружейная пуля останавливается, ударив в мишень.

Теплота. Изучим подробнее теплоту, как одну из возможных форм энергии. Когда нам нужно нагреть комнату, мы зажигаем огонь в камине и освобождаем часть химической энергии, заключенной в угле или дровах; или же мы включаем электрическую печь, и тогда электрический ток приносит нам часть той энергии, которая освобождается при горении угля на удаленной силовой станции. Но что же в конечном счете представляет собой теплота и каким образом она может быть формой энергии?

Всякая теплота — будь то теплота газа, жидкости или твердого тела — есть не что иное, как энергия движения отдельных молекул, и общее количество теплоты данного тела есть общая энергия всех молекул, из которых оно состоит. Нагревая воздух в комнате, мы просто ускоряем движение его молекул. Накачивая велосипедную шину, мы проталкиваем поршень насоса наперекор давлению бесчисленных миллионов молекул, заключенных внутри насоса. Выталкивая встречные молекулы с их пути, пор-

шень увеличивает скорость их движения. Это увеличение энергии движения молекул сводится просто к увеличению количества теплоты. Мы могли бы проверить это, вставив в насос термометр, или еще проще — прикоснувшись к нему рукой: он нагреет.

Молекулы твердого тела не обладают значительной энергией и потому не могут двигаться очень быстро; их движение настолько медленно, что они редко меняют свои относительные положения; соседние молекулы сжимают их так крепко, что незначительная энергия движения не в состоянии их освободить.

Когда мы нагреваем твердое тело, его молекулы приобретают больше энергии и начинают двигаться быстрее. Через некоторое время они движутся так быстро, что начинают уже преодолевать сдерживающие усилия их соседей; каждая молекула обладает достаточным количеством энергии движения, чтобы двигаться куда ей угодно; перед нами рой молекул; они летают свободно, как независимые частицы, натыкаются друг на друга или проталкивают себе дорогу между другими: вещество пришло в жидкое состояние. Остановимся на определенном примере и положим, что лед растаял и обратился в воду; оковы сброшены, и молекулы свободно движутся друг около друга. Каждая из них все еще действует с некоторой силой на своих соседей, но этой силы уже недостаточно, чтобы полностью остановить движение. Будем теперь нагревать жидкость еще сильнее, увеличивая этим энергию движения молекул; они начнут освобождаться совершенно от своих уз и будут свободно летать в пространстве, образуя газ или пар. При продолжении нагрева все вещество постепенно перейдет в газообразное состояние. Дальнейшее нагревание газа заставит молекулы-пули летать все быстрее и быстрее; оно увеличивает их энергию движения. Средняя энергия движения молекул газа пропорциональна его температуре; в сущности к этому сводится самое определение понятия «температура». Собственно

говоря, температуру следовало бы отсчитывать не как обычно по шкале Цельсия, но по так называемой абсолютной шкале, нуль которой лежит на 273° ниже нуля по Цельсию. Этот «абсолютный нуль» соответствует температуре тела, которое не имеет больше возможности терять теплоту; это есть самая низкая возможная температура вообще.

В лабораторных опытах мы можем приближаться к этой температуре, не доходя до нее на два или на три градуса; при этом замерзают воздух, водород и даже гелий, наиболее упорный из всех газов. Термометр, помещенный в междузвездном пространстве, вдали от звезд, вероятно показывал бы температуру градуса на четыре выше абсолютного нуля; но за пределами галактической системы температура должна быть еще несколько ниже.

Столкновения молекул. Попробуем теперь нарисовать картину столкновения между двумя молекулами-пулями в газе. Если бы две свинцовые пули столкнулись над полем сражения, то вероятно часть их энергии перешла бы в тепловую; пули нагрелись бы, а может быть даже и расплавились. Но как могут молекулы-пули превратить свою энергию движения в теплоту? Для них теплота и энергия движения не представляют собой двух разных форм энергии: это одно и то же; их теплота и есть их энергия движения. Общее количество энергии должно быть сохранено, и здесь нет новой маски, которую эта энергия могла бы надеть. Поэтому самое большое, что может произойти при столкновении двух молекул-пуль — это обмен между ними некоторых количеств энергии движения. Если эти энергии до столкновения выражались, скажем, числами 7 и 5, то после удара они могут иметь значения 6 и 6, или 8 и 4, или 9 и 3, или любые иные, дающие в сумме 12.

То же самое повторяется при каждом столкновении; энергия не может быть ни утрачена, ни преобразована в другую форму, и таким образом пули над полем моле-

кулярной битвы продолжают свой вечный полет, ударяясь друг о друга, но не причиняя себе никакого вреда; их энергии движения растут и падают, падают и растут, в зависимости от того, выходит ли столкновение для них удачным или нет; но самое большее, чего они могут опасаться — это колебаний энергии, но отнюдь не полной ее потери; их движение вечно.

АТОМЫ.

В газообразном состоянии каждая отдельная молекула сохраняет все химические свойства твердого или жидкого вещества, из которого образовался газ; так например молекулы пара смачивают соль или сахар, соединяются с гигроскопическими веществами, как негашеная известь или хлористый кальций, совершенно так же, как вода.

Но возможно ли дальнейшее дробление молекул? Лукреций и его предшественники несомненно сказали бы: «нет». Простой опыт, который был для них, конечно, недоступен, покажет нам, что они были совершенно неправы.

Если опустить оба провода от обыкновенного электрического звонка в стакан с водой и пропустить через них ток, то у концов обоих проводов начнут собираться пузырьки газа; химический анализ показывает, что оба газа, выделяющиеся у противоположных проводов, обладают совершенно различными свойствами; поэтому ни тот, ни другой не могут быть водяным паром и таковым в действительности не являются; один из них — водород, другой — кислород. Количество выделяемого водорода вдвое больше, чем кислорода; отсюда мы заключаем, что электрический ток расщепил каждую молекулу воды на две части водорода и на одну часть кислорода. Таким образом молекула разбивается на еще меньшие единицы; они и называются «атомами». Каждая молекула воды состоит из двух атомов водорода (H) и одного атома кислорода (O), что и выражается химической формулой H_2O .

Все те бесчисленные вещества, которые встречаются на Земле: башмаки, корабли, сургуч, короли и капуста, плотники, моржи, устрицы — все, что хотите, — могут быть тем или иным путем разложены на составляющие их атомы. Можно было бы думать, что из богатого разнообразия веществ, встречающихся на Земле, получится совершенно невероятное число различных типов атомов. На самом же деле их очень мало. Те же самые атомы встречаются снова и снова, так что все разнообразие веществ, имеющих на Земле, происходит не в силу разнообразия входящих в их состав атомов, но в силу большого разнообразия тех комбинаций, которые можно получить из атомов немногих типов, — подобно тому как на «трехцветке» различными сочетаниями трех основных красок можно воспроизвести почти все цвета, встречающиеся в природе, не говоря о таких фантастических оттенках, которых не бывает ни на море, ни на земле.

Анализом всех известных земных веществ в настоящее время открыто 90 различных типов атомов. Вероятно их существует на самом деле 92, так как имеются основания полагать, что два, а может быть даже и больше до сих пор еще не открыты. Но даже из 90 уже известных типов большинство встречается чрезвычайно редко; почти все обычные вещества составлены из комбинаций примерно 14 разных типов атомов, а именно: водорода (H), углерода (C), азота (N), кислорода (O), натрия (Na), магния (Mg), алюминия (Al), кремния (Si), фосфора (P), серы (S), хлора (Cl), калия (K), кальция (Ca) и железа (Fe).

Таким образом оказывается, что вся Земля с ее бесконечным разнообразием веществ представляет собой здание, построенное из стандартных кирпичей-атомов; и только несколько их типов, примерно 14, часто повторяются в этом строении, прочие же встречаются очень редко.

Спектроскопия. Подобно тому как колокол под ударами молота издает определенный звук, так и каждый

атом, помещенный в пламя, или в вольтовую дугу, или в разрядную трубку испускает характерное для него излучение. Когда Ньютон пропустил через призму солнечный свет, оказалось, что он разлагается на цвета радуги. Совершенно так же современный спектроскопист, вооруженный бесконечно более точными инструментами, может разложить любой свет на все его составные цвета. Полученная таким путем цветная радуга или «спектр» пересечена решеткой ярких или темных линий или полос, которые служат астроному для определения скорости приближения или удаления звезд (стр. 78). Рассматривая эту решетку, опытный спектроскопист может сразу определить тип атома, излучающего свет, и притом с таким совершенством, что из всех методов обнаружения присутствия того или иного вещества, спектроскопический способ оказывается и самым тонким, и самым точным.

Применение метода спектрального анализа отнюдь не ограничивается одними земными веществами. В 1814 году Фраунгофер повторил опыт Ньютона разложения солнечного света и нашел, что его спектр пересечен рядом темных линий, известных теперь под названием «фраунгоферовых». Объяснение этих темных линий не составляет труда для спектроскописта; они указывают на присутствие на Солнце обычных земных элементов — водорода, натрия, кальция и железа. Как будет объяснено ниже (стр. 166), атомы этих веществ впитывают в себя свет в точности тех же самых цветов, которые отсутствуют в солнечном спектре и заменяются в нем темными фраунгоферовыми линиями. В настоящее время известно, что этот спектр несравненно сложнее, чем думал Фраунгофер, но что, вообще говоря, почти все встречающиеся в нем линии могут быть приписаны атомам, известным на Земле; то же самое справедливо и в отношении спектров всех звезд на небе. Конечно, здесь соблазнительно обобщить этот результат и сразу заключить, что вся вселенная построена только из тех же 90 или 92 типов атомов, ко-

которые найдены на Земле. Однако в настоящее время для такого утверждения нет еще достаточных оснований. Свет, получаемый нами от Солнца и звезд, исходит от их самых внешних слоев и следовательно не может дать никаких указаний о типах атомов, находящихся во внутренних частях звезды. Ведь мы ничего не знаем о типах тех атомов, которые могут находиться в глубинах самой Земли.

Строение атома. Вплоть до самого последнего времени атомы принято было считать теми незыблемыми кирпичиками, из которых построена вся вселенная. Все изменения во вселенной, как полагали тогда, сводятся ни к чему иному, как к перераспределениям атомов, постоянных и неразрушимых; как из детского ящика с кубиками, так из этих атомов строятся одни за другими различные сооружения. История физики XX века есть прежде всего история опровержения подобных взглядов.

В конце прошлого века Крукс, Ленард и в особенности Дж. Дж. Томсон первыми принялись разламывать атом. И тут внезапно обнаружилось, что от тех самых атомов, которые в течение 2000 лет слыли за неразбиваемые кирпичики вселенной, с большой легкостью отщепляются какие-то осколки. Важный этап был пройден в 1895 году, когда Дж. Дж. Томсон показал, что эти осколки были тождественны, независимо от того, к какому типу атомов они принадлежали; они обладали равной массой и несли одинаковый заряд отрицательного электричества. За это свойство они были названы «электронами». Однако атом не может состоять из одних лишь электронов и ничего иного: комплекс одних электронов тоже нес бы отрицательный заряд электричества. Два отрицательных заряда электричества, так же как и два положительных, взаимно отталкиваются, тогда как между двумя разноименными зарядами действует притяжение. Благодаря этому легко определить, имеет ли данное тело или их комплекс положительный или отрицательный заряд, или же оно вовсе не заряжено. Наблюдение показывает, что атом не несет ни-

какого заряда; поэтому где-то внутри его должен заключаться такой положительный заряд, которого было бы как раз достаточно для нейтрализации суммарного заряда всех электронов.

В 1911 году опыты Резерфорда и других раскрыли структуру атома. Как мы скоро узнаем (стр. 149), сама природа доставляет нам бесконечный запас малых частиц, заряженных положительным электричеством и движущихся с большими скоростями: это α -частицы, выбрасываемые радиоактивными веществами. Метод Резерфорда состоял в сущности в том, что он бомбардировал атомы этими частицами и смотрел, что получается. Как ни странно, оказалось, что большинство этих частиц просто преходит сквозь атомы, точно их вовсе и не существует. Получалась какая-то стрельба по привидениям.

Однако атом не всегда был вполне призрачен. Очень небольшая часть этих пуль — быть может одна на 10 000 — отклонялась от своего пути, как если бы эти частицы действительно встретились с каким-то плотным веществом. Математический анализ выяснил, что этими препятствиями могут являться только те положительные заряды атомов, которых нам еще не доставало.

Подробным изучением путей α -частиц было доказано, что положительный заряд атома должен быть полностью концентрирован в очень небольшом пространстве, размеры которого — порядка $\frac{1}{40000000000}$ мм. Таким путем Резерфорд был приведен к той концепции строения атома, которая обычно связывается с его именем. Он предположил, что химические свойства и вся природа атома заключены в весоом, но чрезвычайно малом центральном «ядре», несущем положительный заряд электричества; вокруг него обращается определенное число отрицательно заряженных электронов. Предположить, что электроны в атоме находятся в движении, было конечно необходимо, потому что в противном случае притяжение отрицательного электричества к положительному немед-

ленно привлекло бы все электроны к центральному ядру, совершенно так же, как в силу тяготения Земля должна была бы упасть на Солнце, если бы не ее орбитальное движение. Короче говоря, Резерфорд допустил, что атом построен наподобие солнечной системы, причем роль Солнца играет тяжелое центральное ядро, а электроны являются планетами.

Скорости, с которыми электроны движутся по их крошечным орбитам, невообразимы. Они обращаются вокруг ядра в среднем несколько миллиардов раз в секунду, со скоростью сотен километров в секунду. Малость орбит не спасает электроны от движения с большими орбитальными скоростями, чем планеты или даже сами звезды.

Электронные орбиты расчищают некоторое пространство вокруг центрального ядра; они не позволяют другим атомам подходить к нему слишком близко и этим самым придают атому определенный размер. Объем пространства, занимаемого электронными орбитами, несравненно больше общего объема всех электронов; грубо говоря, отношение их такое же, как поля битвы к пулям. Радиус всего атома имеет порядок 2×10^{-8} см; его диаметр в 100 000 раз больше диаметра, и следовательно его объем в тысячу миллиардов раз больше объема отдельного электрона, радиус которого порядка 2×10^{-13} см. Несмотря на то, что масса ядра превосходит общую массу всех электронов в 3000 или 4000 раз, оно по размеру сравнимо с электроном, а может быть даже и меньше его.

Мы уже говорили о безнадежной пустоте астрономического пространства. Выберите в нем наугад любую точку, и вероятность, что она занята звездой, будет ничтожно мала. Даже солнечная система подавляет своей пустотой; выберите наугад какое-нибудь место в солнечной системе, и опять-таки вероятность, что оно будет занято планетой или даже кометой, метеором или еще меньшим телом, будет чрезвычайно мала. Но теперь мы видим, что такая же пустота свойственна и пространствам, кото-

рые изучают физики. Если мы выберем произвольную точку даже внутри атома, вероятность найти в ней что-нибудь остается ничтожной: она будет порядка не выше одной биллионной. Мы видели, что шесть пылинок, разбросанных на территории вокзала Уатерло-Стэшен, представляют, и даже с избытком, степень заполнения пространства звездами. Подобно этому несколько ос (их будет шесть для атома углерода), летающих по этому огромному вокзалу, представят нам степень заполнения атома электронами. Мы ведем обзор всего строения вселенной, от гигантских туманностей и беспредельных пространств между звездами и между туманностями вплоть до крошечных атомных структур, и перед нами почти все время проходит одна пустота. Мы живем в паутиной вселенной; в ней много формы, узора и плана, но твердого вещества в ней почти нет.

Атомные числа. Число электронов, обращающихся по орбитам в данном атоме, называется его «атомным числом».

Нам известны атомы, соответствующие всем атомным числам от 1 до 92, за исключением двух, именно 85 и 87. Но, как уже упоминалось, очень вероятно, что и они существуют, так что имеется 92 «элемента», атомные числа которых непрерывно заполняют весь ряд от 1 до 92.

Атом с атомным числом единица, конечно, наиболее простой. Это атом водорода, в котором один единственный электрон обращается вокруг ядра, положительный заряд которого в точности равен и противоположен по знаку заряду электрона.

Далее идет атом гелия с атомным числом 2, в котором 2 электрона обращаются вокруг ядра; масса этого ядра в четыре раза больше массы ядра водорода, хотя его положительный заряд только вдвое больше заряда ядра атома водорода. Потом идет атом лития с атомным числом 3; здесь три электрона обращаются вокруг ядра, у которого масса в шесть раз, а заряд в три раза больше, чем

у ядра водородного атома. Продолжая так, мы дойдем до урана, самого тяжелого из всех атомов, известных на Земле; в нем 92 электрона обращаются вокруг ядра, масса которого превышает массу ядра водородного атома в 238 раз.

РАДИОАКТИВНОСТЬ.

Еще в то время, когда не был решен вопрос о возможности расщепления атома на его составные части, физики начали приближаться к познанию, что самые ядра ни вечны, ни неразрушимы. В 1896 году Беккерель нашел, что различные вещества, содержащие уран, обладают замечательным — как тогда казалось — свойством действовать мгновенно на фотографическую пластинку, находящуюся по близости от них. Это наблюдение привело к открытию нового свойства материи, названного «радиоактивностью». Все результаты, достигнутые из изучения явлений радиоактивности в течение последующих лет, были обобщены в так называемой гипотезе «самопроизвольного распада», предложенной Рэзерфордом и Содди в 1903 году. Согласно этой гипотезе в ее современной формулировке радиоактивность состоит в самопроизвольном распаде ядер атомов радиоактивных элементов. Эти атомы так мало соответствуют условиям вечности и неразрушимости, что самые их ядра крошатся с течением времени; то, что некогда представляло собой ядро атома урана, превращается через достаточно долгое время в ядро атома свинца.

Этот процесс превращения происходит отнюдь не мгновенно, а протекает постепенно и притом определенными этапами. Он сопровождается испусканием продуктов радиоактивного распада трех типов; это так называемые частицы α , β и γ . Раньше их рассматривали как лучи в виду их способности проникать через некоторую толщу воздуха, металла или иного вещества. Но истинная природа их была открыта позднее. Известно, что маг-

нитные силы, — как например силы, действующие между полюсами магнита, — отклоняют движущуюся частицу, несущую электрический заряд, от ее прямолинейного пути; при этом направление отклонения зависит от того, заряжена ли частица положительно или отрицательно. При пропускании через пространство между полюсами сильного магнита различных лучей, испускаемых радиоактивными веществами, было обнаружено, что α -лучи состоят из положительно заряженных, а β -лучи — из отрицательно заряженных частиц. Но что касается γ -лучей, то даже в самых мощных магнитных полях, какие только можно было применить, не было обнаружено ни малейшего их отклонения; отсюда можно было вывести, либо что γ -лучи вовсе не являются материальными частицами, или же что они, хотя и являются частицами материи, но не несут никакого электрического заряда. Впоследствии было доказано, что из этих двух предположений правильно первое.

Альфа-частицы. Положительно заряженные частицы, составляющие α -лучи, обычно называются α -частицами. В 1909 году Резерфорд и Ройде пропускали α -частицы через стеклянную пластинку толщиной меньше соеой миллиметра в сосуд, из которого эти частицы не могли вырваться, — нечто вроде мышеловки для α -частиц. Они нашли, что с увеличением в сосуде числа α -частиц в нем замечалось накопление гелия. Таким образом было установлено, что положительно заряженные α -частицы представляют собой не что иное, как ядра атомов гелия.

Эти частицы движутся с огромными скоростями, зависящими от природы того радиоактивного вещества, из которого они были выброшены. Наиболее быстрые из них, испускаемые торием-С', движутся со скоростью 20 600 км в секунду, и даже самые медленные, выбрасываемые ураном I, обладают скоростью 14 200 км в секунду, что превышает приблизительно в 30 000 раз обычную скорость движения молекул воздуха. Частицы, движущиеся с та-

кими скоростями, сметают все обыкновенные молекулы со своего пути; этим и объясняется большая проникающая сила α -лучей.

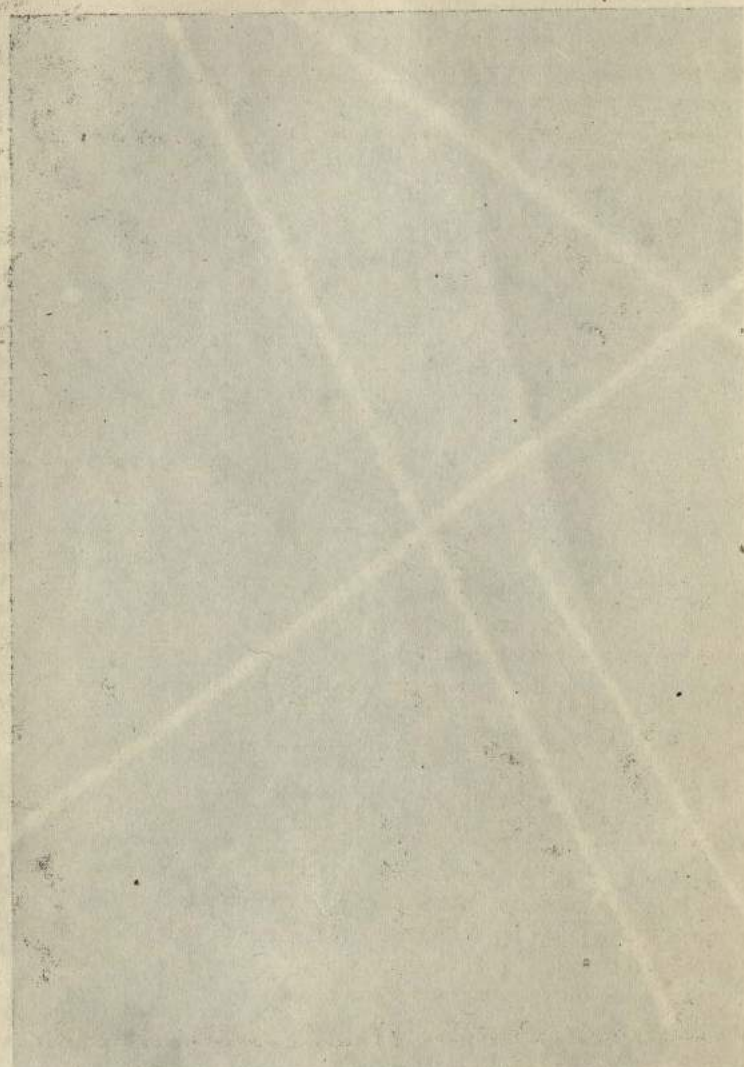
Бета-частицы. При изучении движения β -лучей под влиянием магнитных сил оказалось, что они состоят из отрицательно заряженных электронов, совершенно подобных тем, которые совершают орбитальные движения во всех атомах. Так как α -частица обладает положительным зарядом, равным по величине заряду двух электронов, то атом, испустивший α -частицу, будет обладать недостатком положительного заряда, или — что то же самое — он приобретет отрицательный заряд, равный заряду двух электронов. Следовательно выбрасывание α -частиц должно естественно и пожалуй неизбежно чередоваться с выбрасыванием отрицательно заряженных электронов для того, чтобы в атоме поддерживался баланс положительного и отрицательного электричества. β -частицы движутся со скоростями еще большими, чем α -частицы; многие из них обладают скоростями, близкими к скорости света (300 000 км в секунду).

Один из самых замечательных методов современной экспериментальной физики, предложенный проф. Вильсоном, дает нам возможность изучать движения α - и β -частиц в газе и их столкновения с молекулами последнего. Сосуд, через который пропускаются частицы, наполнен водяным паром в таком количестве, что заряженная электричеством частица оставляет при своем прохождении позади себя дорожку из сгущенных паров, которая может быть сфотографирована. Для примера на табл. XIII дан снимок следов α - и β -частиц, полученный самим Вильсоном. α -частицы, в 7400 раз более тяжелые, чем β -частицы, естественно производят в газе при своем прохождении гораздо большие возмущения и оставляют поэтому более широкие и определенные следы; кроме того их пути почти прямолинейны, в то время как β -частицы очень часто отклоняются от своего пути под влиянием встречных мо-



Следы α - и β -частиц.

К. Т. Р. Вильсон.



THE UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS
 1875

лекул. На фотографии видны 4 следа α -частиц и один значительно более слабый след β -частицы. Интересно отметить утолщения на одном из следов α -частиц, придающие ему узловатый вид: они представляют собой короткие пути электронов, вытолкнутых из атомов при прохождении α -частиц [⊙].

Гамма-лучи вовсе не являются материальными частицами; они представляют собой излучение совершенно особого рода; мы сейчас им займемся.

ИЗЛУЧЕНИЕ.

Вы производите палкой возмущение на поверхности пруда; от палки по воде в виде все расширяющихся кругов распространяется рябь. Так как вода оказывает сопротивление движению палки, то нужно производить известную работу для поддержания волнения в пруде. Эта энергия переходит, по крайней мере, частично, в энергию волн. В том, что волны обладают некоторой энергией, можно убедиться, глядя, как они заставляют подниматься плавающую пробку или игрушечный кораблик, преодолевая при этом силу земного притяжения. Таким образом волны представляют собой некоторый механизм для передачи по поверхности пруда той энергии, которую мы внесли в него движением палки.

Свет и прочие формы излучения подобны водяной ряби или волнам, поскольку и они распространяют энергию от центрального источника. Излучение Солнца рассеивает в пространство огромное количество энергии, вырабатываемой внутри Солнца. Мы не знаем наверняка, представляет ли свет действительно волновое движение, но мы знаем, что способ распространения света, так же как и всех прочих видов излучения, обладает некоторыми свойствами последовательного ряда волн

[⊙] Бумстад называет их δ -лучами.

Мы видели, что лучи различного цвета, составляющие солнечный свет, могут быть получены в отдельности при пропускании света через призму. С помощью другого прибора, так называемой дифракционной решетки, можно не только разложить солнечный свет на составляющие лучи, но и показать, что каждому цвету соответствует определенная длина волны,[⊙] которая на этом приборе может быть получена с большой точностью. Эти длины волн, как оказывается, чрезвычайно малы; у самого красного цвета, еще доступного нашему зрению, длина волны составляет лишь $7\frac{1}{2}$ сотысячных сантиметра ($7,5 \times 10^{-5}$ см), у крайнего фиолетового она вдвое меньше ($3,8 \times 10^{-5}$ см). Но световой луч любого цвета распространяется с одинаковой скоростью 3×10^{10} см в секунду. Поэтому число волн красного цвета, проходящих в секунду через какую-либо точку, не меньше 400 биллионов. Это есть так называемая «частота» данных лучей. Фиолетовые лучи обладают еще вдвое большей частотой, порядка 800 биллионов в секунду; когда мы смотрим на фиолетовый свет, через наш глаз каждую секунду проходит 800 биллионов световых волн.

Видимый нами спектр разложенного солнечного света простирается от красного цвета у одного конца до фиолетового у другого, но эти пределы не являются истинными пределами спектра. Если поместить некоторые химические соли за фиолетовым концом видимого спектра, они начнут ярко светиться, обнаруживая, что и здесь имеется перенос энергии, хотя и в невидимой нам форме.

Области невидимого излучения распространяются неспределенно далеко от обоих концов видимого спектра. С одного конца, именно красного, перед нами непрерывный переход к волнам, применяемым в радиотехнике,

[⊙] Длина волны в системе волн есть расстояние между двумя соседними гребнями; этот термин может быть применен ко всем явлениям волнового характера.

длины которых порядка сотен или даже тысяч метров. С фиолетового конца мы имеем последовательность волн все более коротких — все разнообразие форм ультрафиолетового излучения. Волны, длина которых составляет от одной сотой до одной тысячной доли длины волны видимого света, представляют собой общеизвестные рентгеновы лучи; они проходят на несколько сантиметров через толщу нашего тела и тем дают возможность фотографировать кости человека. Далеко за пределами этих лучей мы находим тот тип излучения, который составляют γ -лучи; у него длина волны — порядка $\frac{1}{40000000000}$ см, т. е. приблизительно в 100 000 раз меньше, чем у видимого спектра. Таким образом, γ -лучи можно рассматривать как невидимое излучение необычайно малой длины волны. О их значении и применении мы будем говорить дальше; здесь же заметим только, что они оказали свою первую и чрезвычайно важную услугу тем, что вызвали вуаль на снимках Беккереля; это и привело в свое время к открытию радиоактивных свойств материи.

Таким образом мы видим, что распад радиоактивного атома можно уподобить ружейному выстрелу; α -частицы — это пули. β -частицы — дым и γ -лучи — пламя. Атом свинца, остающийся после всех превращений, есть разряженное ружье, между тем как исходный радиоактивный атом урана или радия-В представлял собой заряженное ружье. И характерная особенность этих радиоактивных ружей в том, что они стреляют самопроизвольно и по их собственному плану. Все попытки спустить у них курок были до сих пор неудачны или приводили к неопределенным результатам; на нашу долю остается только ждать, пока наступит время, когда ружье выстрелит само собой.

АТОМНЫЕ ЯДРА.

Радиоактивные свойства, как правило, проявляются только у наиболее сложных и тяжелых атомов, у которых атомное число не ниже 83; несущественное исключение

представляют только калий и рубидий (атомные числа 19 и 37). Но хотя легкие атомы и не обладают, подобно радиоактивным элементам, способностью самопроизвольного распада, их ядра все же имеют очень сложное строение и могут быть разложены искусственным путем. В 1920 году Резерфорд, пользуясь радиоактивными атомами как ружьями, производил обстрел α -частицами легких атомов и нашел, что попадание частиц в самые ядра вызывает их расщепление. Тем не менее, между распадом тяжелых радиоактивных атомов и этим искусственным дроблением легких атомов существует значительная разница: в первом случае, помимо неизбежных β и γ -лучей, из атома выбрасываются только α -частицы, тогда как во втором происходит выбрасывание некоторых других частиц, приблизительно в четыре раза более легких, чем α -частицы; они оказались тождественными с ядрами атома водорода.

Эти сенсационные явления в атомном микрокосме могут быть сфотографированы при помощи уже описанного метода конденсации, предложенного Вильсоном. На табл. XIV показаны два столкновения α -частиц с атомами азота, по фотографии, полученной Блэккетом. Прямые линии представляют собой обычные следы α -частиц, подобные тем, которые изображены на табл. XIII. Но здесь на каждом снимке имеется по одной α -частице, на пути которой появляется внезапное ответвление, так что общая картина имеет вид буквы Y. На рис. 1 это ответвление получается, очевидно, потому что α -частица столкнулась с атомом азота; нижняя часть фигуры Y есть путь α -частицы до столкновения; обе верхние ветви представляют собой пути α -частицы и атома азота после столкновения; этот атом движется теперь с огромной скоростью, сметая все со своего пути. Производя одновременные снимки этого явления в двух перпендикулярных направлениях, как показано на табл. XIV, Блэккет был в состоянии восстановить всю картину столкновения; при этом оказалось, что углы имеют в точности ту величину, которая получается

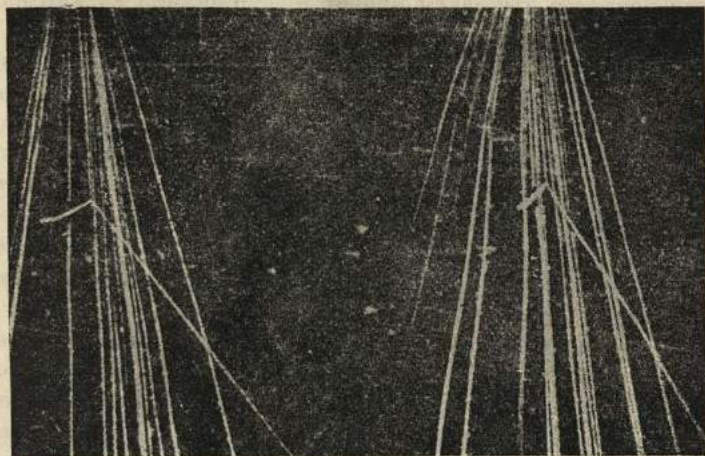
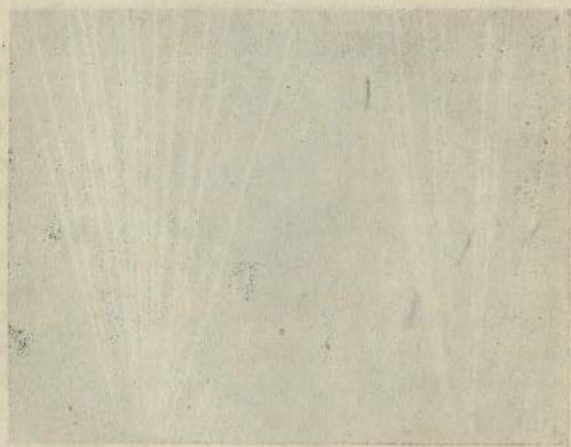
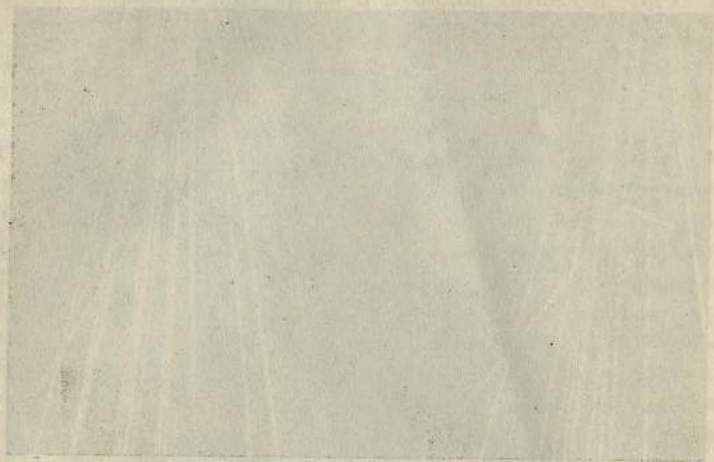


Рис. 1.



Рис. 2.

П. М. С. Блэкетт.



для них из динамической теории подобных столкновений.

На рис. 2 той же фотографии показан иной тип столкновений, чем на рис. 1; наблюдаемые тут углы между ответвлениями не сходятся с теми, которые получались бы для них из динамической теории, если допустить, что верхние ветви фигуры Y соответствуют путям α -частицы и атома азота, как на рис. 1. Здесь нижняя часть Y попрежнему представляет собой путь α -частицы; но в верхней части левый след принадлежит вырванной из ядра атома азота малой частице, с массой в четыре раза меньшей, чем у α -частицы; в другой ветви вилки мы имеем след атома азота, движущегося вместе с захваченной им α -частицей. Подробное описание прекрасного метода, с помощью которого Блэккет пришел к такому объяснению его фотографий, заняло бы здесь слишком много места; во всяком случае не остается сомнений в том, что на рис. 2 ему действительно удалось сфотографировать разрыв ядра в атоме азота.

Изотопы. Два атома обладают одинаковыми химическими свойствами, если их ядра имеют одинаковые заряды положительного электричества. Величиной этого заряда определяется число электронов, обращающихся вокруг ядра, и число это должно быть таково, чтобы суммарный отрицательный заряд электронов нейтрализовал электрическое поле ядра; это число в свою очередь определяет атомный номер элемента. Но Астон показал, что атомы одного и того же химического элемента, как например неона или хлора, могут иметь ядра различного веса. Подобные разновидности одного и того же химического элемента называются изотопами. Далее Астон сделал чрезвычайно важное открытие: веса всех атомов являются почти в точности кратными одной и той же весовой единицы. Эта единица приблизительно равна весу водородного атома, или, точнее сказать, одной шестнадцатой веса атома кислорода. Вес всякого атома, выраженный в этих единицах, называется его «атомным весом».

Протоны и электроны. В виду результатов работ Астона и в связи с искусственным разложением ядра, полученным Резерфордом, в настоящее время является общепринятой гипотеза, по которой вся вселенная построена только из двух типов кирпичей мироздания, именно из протонов и электронов. Каждый протон обладает положительным зарядом электричества, в точности равным заряду электрона; но он тяжелее электрона в 1840 раз. Предполагается, что протоны тождественны с ядрами водородного атома, тогда как ядра других элементов представляют собой сложные сооружения, в которых тесно сжаты и протоны и электроны. Например ядро атома гелия или α -частица состоит из четырех протонов и двух электронов; поэтому вес этого ядра приблизительно в четыре раза больше веса атома водорода, а заряд равен удвоенному заряду ядра водородного атома.

Но это еще не все. Если бы это было так, каждый полный атом состоял бы из некоторого числа N протонов и такого же числа N электронов, которые нейтрализовали бы электрический заряд протонов; таким образом составные части каждого атома были бы тождественны с составными частями N водородных атомов. Тогда вес каждого атома был бы точным кратным веса атома водорода. Но опыт показывает, что так не бывает.

Электромагнитная энергия. Для того чтобы подойти ближе к действительности, мы должны признать, что в атоме, кроме протонов и электронов, из которых он построен, имеется еще одна часть, которую мы характеризуем как электромагнитную энергию. Мы можем в грубом приближении рассматривать ее как закупоренное излучение.

В современной электромагнитной теории твердо установлено, что всякое излучение обладает массой, которая ничуть не менее реальна, чем масса куска железа. Луч света оказывает давление на освещаемую им поверхность, точно так же, как на нее давит струя воды, или порыв

ветра, или падение куска железа; при помощи достаточно сильного света можно свалить человека с ног совершенно так же, как это можно сделать струей воды из брандспойга. Это вовсе не одни лишь выводы из математических теорий. Световое давление на освещаемую поверхность было обнаружено и измерено в непосредственных опытах. Но эти измерения необычайно трудны потому, что по сравнению со всеми обычными данными наших опытов масса, несомая излучением, чрезвычайно мала; все излучение, испускаемое маяком мощностью в 50 л. с. в течение столетия, весит не больше $1\frac{1}{2}$ г.

Таким образом всякое излучающее вещество должно в то же время терять свою массу. В частности распад радиоактивного вещества должен сопровождаться потерей массы, так как он связан с испусканием излучения в виде γ -лучей. Конечная судьба, ожидающая 1 г урана в результате радиоактивных превращений, может быть представлена в виде следующего равенства:

$$1 \text{ г урана} = \begin{cases} 0,8653 \text{ г свинца,} \\ 0,1345 \text{ » гелия,} \\ 0,0002 \text{ » излучения.} \end{cases}$$

Свинец и гелий вместе содержат ровно столько же протонов и электронов, сколько их было в грамме урана, но их суммарный вес меньше веса взятого урана приблизительно на $\frac{1}{4000}$ г. Если вначале имелось 4000 г материи, то теперь их осталось бы 3999; недостающий грамм перешел бы в излучение.

Отсюда вытекает, что массы различных атомов не должны вовсе быть целыми кратными массы водородного атома; считая так, мы игнорировали бы массу закупоренной электромагнитной энергии, которая может быть освобождена и разлиться в пространстве в форме излучения, когда атом меняет свое строение. Масса этой энергии относительно мала, так что веса атомов действительно должны быть близки к целым кратным веса водородного атома (что и подтверждается опытом), но точной крат-

ности быть не может. Полный вес всякого атомного здания не есть просто вес одних кирпичей, из которых оно построено; некоторая часть его должна придтись и на долю цемента — электромагнитной энергии, — связывающего кирпичи между собой.

Итак нормальный атом состоит из протонов, электронов и энергии; все это составные части его общей массы. Когда атом реконструируется, будь то самопроизвольно или под влиянием бомбадировки, протоны и электроны могут быть выброшены в виде материальных частиц (α - и β -частицы), а энергия может освободиться в виде излучения. Это излучение принимает форму γ -лучей, или, как мы скоро узнаем, иные формы невидимого излучения. Окончательная масса атома получится путем вычитания из его начальной массы не только массы всех выброшенных протонов и электронов, но также и массы всей энергии, освободившейся в виде излучения.

ТЕОРИЯ КВАНТ.

Понятия, к которым мы теперь должны перейти, особенно трудны для понимания и тем более для объяснения потому, что мы не можем опереться здесь на данные повседневного опыта в нашем познании природы. [⊗] Приходится говорить главным образом на языке аналогий, сравнений и моделей, которые не могут претендовать на то, чтобы дать отображение реальной действительности.

По законам электродинамики, которые были общеприняты до конца XIX века, — это знаменитые законы Максвелла и Фарадея, — требовалось, чтобы энергия атома постепенно убывала по мере того, как он рассеивает ее в пространство в виде излучения, оставляя все меньше и меньше на свою долю. Из этих же законов вытекало, что

[⊗] Читатель, интересы которого ограничены астрономией, предпочтет перейти непосредственно к третьей главе.

вся свободная энергия в пространстве должна быстро переходить в излучение почти бесконечно малой длины волны. Однако ни того ни другого на самом деле отнюдь не наблюдалось; поэтому было очевидно, что с господствующими электродинамическими теориями надо расстаться.

Излучение замкнутой полости. Несостоятельность прежних законов обнаруживается неопровержимым и решительным образом на случае излучения замкнутой полости (или так называемом черном излучении). Тело, обладающее внутренней полостью, накаляется до свечения; при этом ни свет, ни теплота, которые оно испускает с его внешней поверхности, во внимание не принимаются; исследуется только излучение, заключенное во внутренней полости; его выпускают наружу через очень малое отверстие и разлагают на составляющие цвета при помощи спектроскопа или диффракционной решетки. Это и есть «излучение замкнутой полости». Из всех существующих форм излучения это самое полное; в нем не только имеются в наличности все цвета спектра, но каждый из них представлен с наибольшей силой. Ни одно из известных веществ не дает такого полного излучения от своей поверхности, хотя у многих оно приближается к излучению этого типа. О таких веществах говорят как о «полных излучателях».

Из электромагнитных законов, принятых в XIX веке, следовало, что все излучение от полного излучателя или от замкнутой полости должно иметь максимум в фиолетовом конце спектра или даже за его пределами, совершенно независимо от той температуры, до которой нагрето данное тело. В действительности же все излучение имеет максимум как раз в противоположном конце спектра, что отнюдь не вытекает из законов классической электродинамики XIX века и не может быть связано с ними.

В 1900 году проф. Планк из Берлина установил экспериментальным путем закон распределения излучения замк-

нутой полости по различным цветам спектра. Он показал далее, что открытый им закон может найти теоретическое обоснование в системе законов электромагнетизма, которая самым радикальным образом отличалась от господствовавших в то время в науке взглядов.

Планк предположил, что всякое излучение происходит вследствие возбуждения систем вибраторов, излучающих свет, подобно камертонам, которые начинают звучать при ударе. По старым электродинамическим законам, колебания всякого вибратора должны постепенно ослабевать и наконец остановиться, — как останавливаются колебания камертона, — пока вибратор не будет возбужден снова. Отказываясь от всего этого, Планк допускал, что вибратор может изменять свою энергию только внезапными скачками и никаким другим способом: он может обладать одной, двумя, тремя, четырьмя или любым целым числом единиц энергии, но никак не промежуточными дробными значениями; в силу этого постепенные, непрерывные изменения энергии оказываются для него невозможными. Можно сказать, что вибратор как бы не имеет разменной монеты и тратит свою энергию только целыми шиллингами сразу, пока не отдаст всего, что у него есть. Мало того, он отказывается также и получать мелочь и принимает только целые шиллинги. Все эти понятия, — сенсационные и даже смешные по мнению многих в то время, — как оказывается, приводят в точности к тому распределению энергии излучения по цветам спектра, какое наблюдается в действительности у излучения замкнутой полости.

В 1917 году Эйнштейн облек эту гипотезу в более точную и общепринятую теперь форму. Согласно теории, предложенной уже раньше проф. Нильсом Бором из Копенгагена, ни одна атомная или молекулярная система не может менять свою конфигурацию или рассеивать свою энергию в процессе непрерывном и постепенном. Всякая постепенность изгнана из физики, и на ее место становится прерывность. Атомные системы обладают некоторым чис-

лом возможных состояний или конфигураций, резко различных и отделенных друг от друга, подобно тому как груз, лежащий на лестнице, может иметь только определенное число положений: он может находиться на третьей ступеньке, на четвертой или на пятой, но никак не на $3\frac{1}{4}$ или на $3\frac{3}{4}$. Переход от одного положения к другому осуществляется, вообще говоря, посредством излучения. Система может подняться вверх по лестнице, поглощая падающее на нее излучение, или она может спуститься вниз к более низкому энергетическому состоянию, отдавая при этом свою энергию в форме лучеиспускания. Каждый такой переход из одного состояния в другое может быть вызван только излучением определенного цвета и следовательно строго определенной длины волны. Изменить состояние атомной системы — это почти то же самое, что получить коробку спичек из автомата. Достигнуть этого можно только одним способом, а именно опустив требуемую монету, скажем один пенс, т. е. монету совершенно определенного размера и веса. Любая иная монета, слишком маленькая или слишком большая, слишком легкая или слишком тяжелая, обречена на неудачу. Направляя на атом излучение не надлежащей длины волны, мы рискуем очутиться в положении того миллионера, все богатство которого было бы бесполезно для приобретения коробки спичек, если у него нет монеты в один пенс, или в положении ребенка, который не может получить плитку шоколада, потому что накопленное им богатство состоит из монет в пол и в четверть пенса; но атома мы не потревожим. Когда смешанное излучение попадает на комплекс атомов, они поглощают лучи исключительно той длины волны, которая нужна, чтобы изменить их внутренние состояния, и никакие иные: излучение всех остальных длин волн проходит свободно.

Это избирательное действие атомов на излучение может быть обнаружено различными способами; пожалуй, оно наиболее ясно видно на спектрах Солнца и звезд.

Практически, во всех звездных спектрах наблюдаются темные линии, подобные тем, которые Фраунгофер обнаружил в солнечном спектре (см. табл. VIII). Теперь мы в состоянии понять, почему это должно быть так: излучение со всеми возможными длинами волн истекает из нагретых внутренних частей звезды и бомбардирует атомы, составляющие ее атмосферу. Каждый атом пьет то излучение, у которого длина волны в точности ему подходит; но он не вступает вовсе во взаимодействие с любыми другими лучами, так что у излучения, испускаемого звездой, будут отсутствовать именно лучи тех особых длин волн, которые подходят атомам. Таким образом у звезды получается спектр поглощения, состоящий из тонких линий. Положение этих линий в спектре показывает, какие типы излучения поглощены звездными атомами. Этим самым мы получаем возможность отождествить их, зная из лабораторных опытов, каковы вкусы различных типов атомов в отношении излучения. Но от чего в конечном счете зависит, какие виды излучения атом поглотит и от каких он откажется?

Уже раньше Планк исходил из того, что излучение каждой длины волны связано с известным количеством энергии, называемым «квантом», зависящим от длины волны излучения и ни от чего иного. По определению, кванты пропорциональны «частоте» (стр. 54) или числу колебаний излучения в одну секунду[Ⓜ] и таким образом обратно пропорциональны длине волны; следовательно, чем короче длина волны, тем больше энергия кванта, и наоборот.

Красный свет обладает слабыми квантами, фиолетовый более энергичными и т. д.

[Ⓜ] Для точности надо сказать, что если ν частота излучения, его квант энергии имеет величину $h\nu$, где h — универсальная постоянная, известная под названием постоянной Планка. Эта постоянная имеет размерность энергии, умноженной на время; ее численное значение равно $6,55 \cdot 10^{-27}$ эрг \times секунд.

В развитие этого Эйнштейн предположил, что излучение данного типа может вызвать изменение атомных или молекулярных систем только в том случае, если энергия, требуемая для такого изменения, в точности равна энергии одного кванта излучения. Это положение известно под названием закона Эйнштейна; им определяется, какое именно излучение может сыграть роль пенса в атомном или молекулярном автомате. ☺

Надо заметить, что работа, для которой требуется один мощный квант, не может быть выполнена двумя слабыми квантами или вообще каким-либо иным их числом. Небольшое количество слабого фиолетового света (высокой частоты) может произвести эффект, который недоступен даже большому количеству красного света (низкой частоты), — обстоятельство, с которым по печальному опыту знаком каждый фотограф. Красный свет, сколько бы его ни было, не производит никакого действия на наши пластинки, тогда как их портит даже самый слабый луч фиолетового света.

Закон, о котором мы теперь говорим, воспрещает убийство двух птиц одним камнем, но в равной мере запрещает он и убийство одной птицы двумя камнями: весь квант уходит на то, чтобы произвести данное изменение, так что никакой энергии для каких бы то ни было позднейших действий от этого кванта не остается. Это положение вещей формулируется в виде следующего фотохимического закона Эйнштейна: «При любой химической реакции, происходящей под влиянием излучения, число участвующих в ней молекул равно числу поглощенных световых квант». Тем, кому приходится иметь дело с автоматами, хорошо знакомо аналогичное положение: число проданных пред-

☺ Соответственное уравнение имеет вид $E_1 - E_2 = h \nu$, где E_1 и E_2 представляют собой энергии материальной системы до и после изменения, ν — частоту излучения, h — постоянную Планка, определение которой дано выше.

метов в точности равно числу монет, попавших в автомат.

Если мы будем рассматривать энергию с точки зрения ее способности производить разрушения, то увидим, что излучение, имеющее малую длину волны, может оказывать более разрушительное действие на атомные системы, чем излучение с большой длиной волны. При достаточно короткой длине волны излучение может не только произвести перестройку молекулы или атома; оно в состоянии также и раздробить атомы, которые попадают на его пути, отрывая от них по одному электрону; такое явление носит название фотоэлектрического эффекта. Опять-таки и здесь имеется точный предел для частот, так что излучение, частота которого лежит ниже этого предела, не произведет никакого действия, как бы это излучение ни было интенсивно; но лишь только мы подходим к частоте, соответствующей этому пределу, как самое слабое излучение сразу же вызывает фотоэлектрический эффект; и опять поглощение одного кванта разбивает только один атом, вырывая из него только один электрон. Если же излучение, а следовательно и его квант обладают энергией, превышающей тот минимум, который нужен для удаления из атома одного электрона, то этот квант будет поглощен полностью, а избыток энергии пойдет на движение вырванного электрона.

Электронные орбиты. Все эти положения основаны на гипотезе Бора, по которой электронам в атоме доступно только ограниченное число орбит, а все прочие запрещены (по причинам, которых мы и до сих пор еще не понимаем вполне), и что под влиянием излучения электрон может переходить с одной дозволенной орбиты на другую. Относительное расположение разнообразных дозволенных орбит является предметом теории Бора. Хотя современные исследования и указывают на необходимость пересмотра простых положений этой теории, мы все же остановимся на них несколько подробнее; это представляется необходимым потому, что картина атома, данная Бором, до сих

пор является лучшей из всех имеющихся у нас механических рабочих моделей, отчасти же и потому, что понимание его простой теории очень существенно для усвоения тех значительно более запутанных теорий, которые начинают ее постепенно вытеснять.

Водородный атом, как мы уже видели, состоит из одного протона, составляющего центральное ядро, и одного единственного электрона, обращающегося вокруг ядра. Ядро, масса которого приблизительно в 1840 раз больше массы электрона, находится почти в полном покое и не испытывает на себе влияния движения электрона, так же как Солнце не подвергается возмущениям от движения вокруг него Земли. Ядро и электрон несут заряды положительного и отрицательного электричества и поэтому притягивают друг друга; в силу этого электрон описывает вокруг ядра некоторую орбиту, а не уносится от него в пространство по прямой линии, — все это опять-таки совершенно аналогично тому, что мы имели для Земли и для Солнца. Более того, притяжение между электрическими зарядами противоположного знака подчиняется, как оказывается, точно такому же закону, как и тяготение; оно уменьшается пропорционально квадрату расстояния между обоими зарядами. Таким образом система ядро-электрон во всех отношениях подобна системе Солнце-Земля, и те орбиты, которые электрон может описывать вокруг центрального ядра, совершенно тождественны с теми, по которым может обращаться планета вокруг Солнца; эти орбиты представляют собой систему эллипсов, в одном из фокусов которых находится ядро.

Однако общие положения квантовой динамики не допускают движения электрона по любым орбитам эллиптического типа. По Бору, электрон водородного атома может двигаться на определенном числе круговых орбит, диаметры которых пропорциональны квадратам чисел натурального ряда, т.е. 1, 4, 9, 16, 25 ...; он может совершать свое движение также и на некоторых эллиптических орби-

тах, большие оси которых соответственно равны диаметрам дозволенных круговых орбит. Однако на эти эллиптические орбиты накладывается еще дополнительное ограничение, так как для эксцентриситета допускаются только вполне определенные значения. Все прочие орбиты так или иначе запрещены.

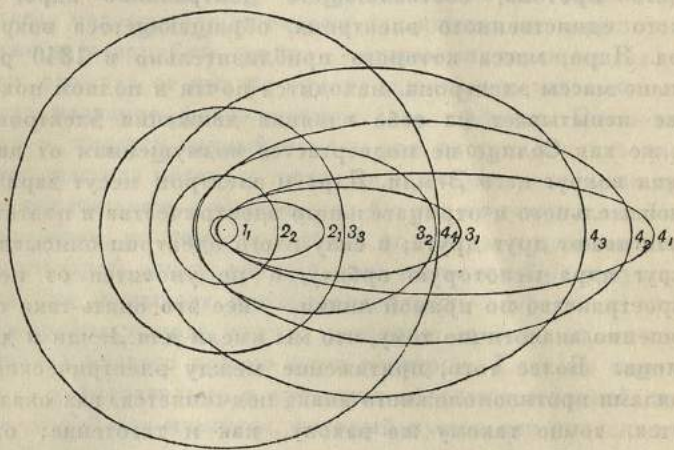


Рис. 10. Расположение электронных орбит в водородном атоме (модель Бора).

Наименьшие орбиты, которые может описывать электрон в водородном атоме, показаны на рис. 10. Самая малая из них, с диаметром равным 1, обозначена 1_1 ; за ней следуют две орбиты с диаметром равным 4, обозначенные 2_1 и 2_2 ; далее три орбиты с диаметром 9, обозначенные 3_1 , 3_2 , 3_3 ; и 4 орбиты с диаметром 16, обозначенные 4_1 , 4_2 , 4_3 и 4_4 . На них останавливается наш чертеж за недостатком места, хотя дозволенные орбиты можно строить по этому закону неопределенно далеко. Даже в лабораторных условиях электронам случается двигаться по орбитам, диаметр которых превосходит в 100 раз диаметр

орбиты, обозначенной I_1 . В очень разреженных звездных атмосферах водородные атомы могут разбухать до значительно больших размеров, и звездные спектры указывают на существование орбит, размеры которых больше чем в 1000 раз превышают орбиту I_1 . Такая орбита была бы представлена на рис. 10 окружностью около 4 м в попечернике.

Всем орбитам, эллиптическим или круговым, имеющим один и тот же диаметр, соответствует одинаковая энергия; но когда электрон переходит с одной орбиты на орбиту другого диаметра, его энергия изменяется. Таким образом атом является до некоторой степени резервуаром энергии. Изменения его энергии можно легко вычислить; так например в водородном атоме две орбиты наименьшего диаметра отличаются по своей энергии на 16×10^{-12} эрг. Если мы направим излучение соответственной длины волны на атом, в котором электрон описывает наименьшую орбиту, то он перейдет на ближайшую, поглощая при этом 16×10^{-12} эрг энергии; тем самым он превращается временно в резервуар энергии, содержащий 16×10^{-12} эрг. Если атом подвергается извне каким-либо возмущениям, он может, конечно, в любой момент израсходовать эту энергию, или же он может поглотить еще некоторую порцию энергии и увеличить таким путем свой запас.

Если для данного типа атомов известны все дозволенные орбиты, то можно без труда вычислить все изменения энергии, которыми сопровождаются переходы с одной орбиты на другую. Но так как с каждым переходом поглощается или освобождается в точности один квант энергии, то мы в состоянии вычислить частоту излучения, поглощаемого или испускаемого при этих переходах. Короче говоря, по расположению атомных орбит имеется возможность определить весь спектр данного атома. Но на практике ставится, конечно, обратная задача: по данному спектру найти структуру излучающего его атома. Модель водородного атома, которой пользуется теория Бора,

имеет за собой по крайней мере одно достоинство: спектр, который получался бы от этой модели, почти в точности соответствует спектру атома водорода. Но согласие все же и здесь неполное, так что в настоящее время считается установленным, что для пояснения действительных спектров схема орбит, данная Бором, недостаточна. Однако мы будем продолжать разбор этой схемы; и это не потому, что атом действительно построен соответственно ей, но в силу того, что для нашей цели это достаточно хорошая рабочая модель.

В теории Бора имеется один очень важный, хотя на первый взгляд и несколько неожиданный момент: если оставить совершенно в покое водородный атом, получивший порцию энергии в 16×10^{-12} эрг, то по истечении некоторого времени его электрон должен все-таки самопроизвольно перескочить обратно на его исходную, меньшую орбиту, овобождая при этом 16×10^{-12} эрг энергии. Эйнштейн показал, что если бы это обстоятельство не имело места, то прочно установленный закон излучения замкнутой полости не мог бы быть верным. Таким образом всякая совокупность водородных атомов, у которых электроны находятся не на самых внутренних дозволенных орбитах, аналогична совокупности атомов урана или другого радиоактивного вещества в том отношении, что эти атомы самопроизвольно возвращаются к своим более низким энергетическим состояниям просто лишь в силу течения времени.

Электронные орбиты более сложных атомов имеют в общих чертах то же устройство, что и у водородного атома, но отличаются от них своими размерами. В водородном атоме электрон по истечении некоторого времени падает, вообще говоря, на орбиту с наименьшей энергией и остается на ней. По аналогии можно было бы предположить, что в более сложных атомах, где несколько электронов совершают орбитальное движение, все они в свое время успокоятся на одной и той же орбите с наименьшей энергией. Но так не происходит в действительности. На

одной и той же орбите больше одного электрона никогда поместиться не может. Это один из тех случаев, в которых перед нами раскрывается некоторое общее начало, повидимому господствующее во всей физике. Для него имеется название, — и больше, пожалуй, мы не знаем о нем ничего: это так называемый «принцип исключения»; мы едва лишь подходим к его пониманию. В другом своем проявлении этот принцип совпадает с тем старым и привычным нам основоположением науки, согласно которому два материальных тела не могут одновременно занимать одно и то же место в пространстве. Однако, если нам даже и неясен смысл принципа исключения, мы можем принять как данное, что два электрона не только не могут занимать одно и то же место, но не могут даже и находиться на одной и той же орбите. Выходит так, как будто один электрон каким-то образом распространяется по всей орбите, не оставляя места для другого. Конечно, нет необходимости понимать сказанное буквально; однако нет ничего невероятного и в предположении, что орбиты с наименьшей энергией в водородном атоме являются дозволенными орбитами именно потому, что электрон может заполнить их совершенно, тогда как смежные орбиты оказываются невозможными в силу того, что электрон в состоянии заполнить их $\frac{3}{4}$ или $1\frac{1}{2}$ раза; то же самое относится и к более сложным атомам. В связи с этим является весьма знаменательным следующее обстоятельство: мы не знаем ни одного физического явления, которое дало бы возможность сказать, что в данный момент электрон находится в такой-то точке орбиты с наименьшей энергией. Такое утверждение повидимому лишено всякого смысла; состояние атома определяется со всей возможной точностью указанием той орбиты, на которой в данный момент находится электрон, как было бы например в том случае, если бы он растянулся в кольцо. Но мы не можем сказать того же самого о других орбитах. При переходе к орбитам с более высокой энергией, и следовательно с боль-

шим диаметром, эта неопределенность постепенно меняет свой характер и наконец теряет свое значение. Что бы ни представлял собой электрон пока он находится на небольшой орбите, близкой к ядру, с переходом на просторные далекие орбиты он становится обыкновенной материальной частицей, заряженной электричеством.

Итак все электроны, обращающиеся по орбитам в одном и том же атоме, должны находиться на разных орбитах, в чем бы ни состояла причина этого. Электроны в своих орбитах подобны людям на пожарной лестнице: как два человека не могут стоять на одной ступеньке, так и два электрона не могут двигаться друг за другом по одной и той же орбите. Атом неона, в котором имеется 10 электронов, находится в нормальном состоянии минимальной энергии, когда все его 10 электронов занимают 10 орбит с наименьшей энергией. По некоторым причинам, объяснение которых в конце концов было найдено в теории квант, в каждом атоме имеются две орбиты, энергии которых равны между собой и притом ниже энергии всех прочих орбит. Далее следуют 8 орбит с равной, но значительно более высокой энергией, затем 18 орбит с еще большей энергией и так далее. Так как все электроны в каждой из этих различных групп обладают одинаковой энергией, о них говорят обычно как об электронных кольцах, применяя, пожалуй, довольно картинную, но могущую ввести в заблуждение терминологию. Эти кольца обозначаются буквами *K*, *L*, *M* и т. д. В кольце *K*, ближайшем к ядру, имеется место всего лишь для двух электронов. Каждый следующий электрон выталкивается на кольцо *L*, могущее вместить 8 электронов; здесь все они обращаются по различным, но обладающим одинаковой энергией орбитам. Если есть еще электроны, которые нужно разместить в атоме, то им приходится занимать кольцо *M* и т. д. В нормальном состоянии у атома водорода имеется один электрон в кольце *K*, у атома гелия два электрона в том же кольце;

у обоих этих атомов кольца L , M и все дальнейшие остаются незанятыми. Следующий по сложности атом лития имеет три электрона, и так как кольцо K вмещает их только два, то третий должен блуждать уже дальше от ядра в кольце L . В атоме бериллия имеются 4 электрона: два из них находятся в кольце L . Так продолжается далее, пока мы не дойдем до неона с его 10 электронами; здесь уже кольцо L и внутреннее кольцо K заполнены окончательно.

В следующем атоме натрия один из 11 электронов попадает на еще более удаленное кольцо M и т. д. При условии, что атомы не подвергаются возбуждению ни излучением, ни каким-либо другим внешним воздействием, каждый атом приходит со временем в то состояние, в котором все его электроны находятся на орбитах с наименьшей энергией, по одному на каждой орбите.

Все, что мы знаем из опыта, говорит за то, что атом, достигнув такого состояния, фактически становится как бы *perpetuum mobile*; его электроны продолжают двигаться в своих орбитах (по крайней мере согласно теории Бора) без всякой потери энергии движения, будь то в форме излучения или какой-нибудь иной. Кажется удивительным и совершенно непонятным, почему атом в этом состоянии неспособен еще и дальше отдавать свою энергию; но опыт показывает, что это именно так. И это свойство — как бы оно ни было нам мало понятно — в конечном счете ответственно за сохранение вселенной в бытии. Не будь такого ограничения, вся энергия вселенной рассеялась бы в виде излучения в несколько миллиардных долей секунды. Если бы излучение нормального водородного атома подчинялось законам физики XIX века, то этот атом в силу лучеиспускания должен был бы сокращаться в своих размерах со скоростью больше метра в секунду; при этом его электрон падал бы на орбиты все с меньшей и меньшей энергией. По прошествии примерно одной миллиардной доли секунды ядро и электрон налетели бы друг на друга,

и весь атом вероятно погиб бы во вспышке излучения.

Налагая запрет на всякое излучение, если только оно не происходит полными квантами, и запрещая излучение вообще, пока нет тех квант, которые могли бы рассеяться, теория квант достигает возможности сохранить бытие вселенной как некоторой жизнеспособной организации.

Все эти построения современной физической мысли достаточно трудно излагать и поэтому их не менее трудно понять. Нам легко объяснить, как происходит в солнечной системе движение Земли вокруг Солнца. Солнце мы видим, Землю мы чувствуем под ногами, понятие движения известно нам из повседневного опыта. Но пытаться объяснить движение электрона вокруг ядра в атоме водорода — это дело совершенно иное. Ни у вас, ни у меня нет непосредственного опыта в отношении протонов или электронов, и ни у кого вообще нет еще ни малейшего представления об их действительной природе. При этих условиях, мы стоим перед необходимостью строить модель атома, в которой электроны и протоны представлены, можно сказать, самыми обыкновенными для нас предметами, именно крошечными твердыми сферами. Эта модель работает исправно до некоторых пор, но затем она неожиданно ломается у нас на руках. По новейшим физическим теориям, известным под общим названием «волновой механики», свойства твердой сферы бесконечно далеки от свойств электрона, который эта сфера должна изображать. Твердая сфера всегда имеет определенное положение в пространстве; электрон по видимому его не имеет вообще. Твердая сфера движется от одной точки к другой; но наша модель электрона, перескакивающего с орбиты на орбиту в модели водородного атома, очевидно ведет себя повсе не как те твердые сферы, которые даны наяву нашему опыту; а реальный электрон, — если вообще в атоме есть такая вещь, как реальный электрон, — ведет себя вероятно и еще того хуже. Но так как наш разум до сих

пор еще не создал лучшей картины атома, чем эта весьма несовершенная модель, нам остается только продолжать описание явлений, пользуясь ею.

ДЕЙСТВИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ НА АТОМЫ.

Чем меньше размеры данного атомного образования, тем большее количество энергии требуется для того, чтобы его разбить или перестроить; но так как эта энергия должна поступать в виде отдельного кванта, то тем больше должна быть энергия этого кванта и следовательно тем короче длина волны соответствующего излучения. Атомное образование очень малых размеров может быть расстроено только излучением очень короткой длины волны.

Корабль, отправляющийся в бурное море, рискует сильнейшими бедствиями, а его пассажиры—сильнейшими неудобствами в тех случаях, когда длина корабля приблизительно равна длине волны. Короткие волны опасны для малых кораблей, более длинные для больших, но волнение с очень длинной волной причиняет мало вреда и тем и другим. Но в этом в сущности нет настоящей аналогии с действием излучения, так как длина волны лучей, разрушающих атомные образования или системы, в сотни раз превосходит их размер. В море этому соответствовала бы как раз та волна, которая неспособна причинять вреда кораблям. В качестве довольно грубого, но полезного приближения можно принять, что лучи, у которых длина волны в 860 раз больше размеров данного атомного образования, в состоянии лишь его перестроить; но чтобы произвести в нем разрушение, требуется излучение с меньшей длиной волны. [⊙]

[⊙] Для математика не трудно обосновать это правило: энергия, необходимая для того, чтобы раздвинуть два электрических заряда $+e$ и $-e$ на расстояние r , равна e^2/r ; энергия, требуемая для восстановления или разрушения образования, состоящего из электронов и протонов и имеющего линейный размер r , будет, вообще говоря,

Короче говоря, причина, почему синий свет действует на фотографическую пластинку, а красный свет на нее не действует, заключается в том, что длина волны синего света меньше, а красного больше, чем диаметр молекулы хлористого серебра, увеличенный в 860 раз; чтобы получить какой-либо эффект, мы должны спуститься ниже этого «предела 860».

Когда атом разряжает запас накопленной им энергии, то излучаемый им свет будет по необходимости обладать той же длиной волны, как излучение, поглощенное им при первоначальном накоплении энергии; но так как оба кванта энергии равны, то и их длины волн должны быть одинаковы. Отсюда следует, что излучение, испускаемое атомным образованием, будет также иметь длину волны, приблизительно в 860 раз превосходящую размеры самого образования. Обыкновенный видимый свет излучается преимущественно атомами, и поэтому его длина волны порядка 860 атомных диаметров. И действительно, именно потому, что такова его длина волны, этот свет действует на атомы сетчатой оболочки нашего глаза и в силу этого становится видимым.

Излучение указанной выше длины волны действует только на самые внешние электроны в атоме; но излучение значительно меньшей длины волны может причинить ему и более серьезные разрушения; так например рентгеновы лучи обладают способностью разбивать в атомах гораздо более компактные внутренние электронные кольца К, L и т. д. Излучение еще меньшей длины волны может действовать даже и на протоны и электроны в ядре. Действительно атомные ядра, подобно самим атомам,

сравнима с этой величиной. Если длину волны требуемого излучения обозначить через λ , а скорость света через c , то количество энергии, полученной атомом при поглощении таких лучей, будет квант hc/λ , но так как значение h с большим приближением равно $860 e^2/c$, мы находим, что длина волны этого излучения приблизительно в 860 раз больше размеров того атомного образования, которое должно быть разбито.

представляют собой образования, состоящие из положительных и отрицательных зарядов электричества, и следовательно они должны реагировать подобным же образом на падающие на них лучи, с той лишь разницей, что здесь идет речь об излучении существенно более короткой длины волны. Эллис и другие нашли, что γ -лучи, испускаемые при распаде атомов радиоактивного элемента радия-В, имеют длины волн 3,52; 4,20; 4,80; 5,13 и 23×10^{-10} см. Эти длины волн составляют примерно сто-тысячную часть длины волн видимого света, и это объясняется тем, что сами атомные ядра меньше целого атома в сто тысяч раз. При указанной длине волны эти лучи обладают такой же способностью вызывать переустройство ядер атомов радия-В, как лучи с длиной волны, большей в сто тысяч раз, могут производить переустройства водородного атома в целом.

Так как длина волны излучения, поглощаемого или испускаемого атомом, обратно пропорциональна количеству энергии, то кванты, требуемые для того, чтобы заставить действовать атомное ядро, должны обладать энергией во сто тысяч раз большей энергии квант, под влиянием которых начинает действовать весь атом. И если мы сравнивали водородный атом с автоматом, который выбрасывает спички за пенс, то тут нужны будут по меньшей мере пятисотфунтовые банкноты, чтобы оплатить «работу» ядер радиоактивных элементов.

Возможно, что радиоактивные ядра, подобно ядрам атомов азота и кислорода, могут быть разбиты достаточно интенсивной бомбардировкой; однако экспериментальные данные на этот счет довольно неопределенны. Если это возможно, то каждая бомбардирующая частица должна обладать энергией движения, равной по крайней мере энергий одного кванта того излучения, о котором сейчас говорилось; для этого частица должна двигаться с грандиозной скоростью. Но при достаточно высокой температуре в материи имеются в избытке запасы квант с высо-

кой энергией и частиц, движущихся с большими скоростями.

Температурное излучение. В обыденной жизни мы говорим о белом или красном калении, понимая под этим степень нагрева, до которой должно быть доведено вещество, чтобы излучать красный или белый свет. Так, говорят, что нить в угольной лампе накалена докрасна, в экономической лампе до желтого накала. При этом не нужно оговаривать, с каким веществом мы имеем дело: если уголь излучает красный свет при температуре в 3000° , то и вольфрам и всякое другое вещество, нагретое до этой температуры, будет испускать такой же красный свет, как и уголь; то же самое верно и для излучения всех других цветов. Таким образом с каждым цветом и следовательно с каждой длиной волны излучения связана некоторая определенная температура; это температура нагретого тела, при которой данный цвет оказывается наиболее интенсивным в спектре его излучения. Как только мы приближаемся к этой температуре, но не раньше, излучение с данной длиной волны появляется в изобилии, тогда как при температурах, лежащих много ниже ее, оно может быть совершенно незначительно. ^⑤

Совершенно так же, как мы говорим о накале докрасна или добела, мы могли бы, — хотя это и не делается — говорить о накале до рентгеновых или до γ -лучей. Чем короче длина волны излучения, тем выше температура, ему специально соответствующая, или так называемая эффективная температура данного излучения. По мере того, как мы нагреваем вещество все больше и больше, оно испускает свет все более короткой длины волны и пробегает последовательно через все цвета радуги: красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий, фиолетовый. Мы

^⑤ Длина волны λ данного излучения и соответствующая ему температура T (по абсолютной шкале) связаны известным соотношением:

$$\lambda T = 0,2885 \text{ см} \times \text{град.}$$

не обладаем возможностью воспроизвести достаточно широкую градацию температуры в наших лабораториях, но в звездах природа выполняет это за нас.

Действие теплоты. Мы уже видели, что для разрушения атомных образований малых размеров необходимо излучение короткой длины волны. Но так как короткие длины волн связаны с высокими температурами, то чем меньше размеры данного атомного образования, тем выше температура, требуемая для его разрушения. Можно вычислить, как высока должна быть та температура, при которой под влиянием теплоты начнется разрушение атомной системы данного размера. [⊕]

Так например у обыкновенного атома, диаметром около 4×10^{-8} см, разрушение начнется при температурах порядка нескольких тысяч градусов. Для определенности возьмем желтый свет с длиной волны в 0.00006 см, которому соответствует эффективная температура в 4800° ; эта температура представляет некоторый средний «желтый накал». При температурах значительно более низких желтый свет может быть получен только особыми путями. Но звезды и другие тела при температуре в 4800° естественно излучают желтый свет; в желтой области их спектров появляются линии, так как данное излучение удаляет самый внешний электрон из атомов кальция и подобных ему элементов. Электроны в атоме кальция начинают испытывать возмущение при приближении температуры к 4800° , но не раньше. Такие температуры на земле не встречаются (за исключением вольтовой дуги и других искусственных условий), так что атомы кальция на земле, вообще говоря, находятся в покое в наиболее низком энергетическом состоянии.

[⊕] Комбинируя только что приведенное соотношение между T и λ с тем, которое выражается приближенным правилом «предела 860», мы найдем, что атомное образование с диаметром r см начнет разрушаться под влиянием температурного излучения при приближении температуры к $\frac{1}{3000} r$ градусов.

Возьмем другой пример: наименьшие длины волн, испускаемые при распаде урана, имеют порядок $0,5 \times 10^{-10}$ см, что соответствует невероятно высокой температуре в $5\,800\,000\,000^\circ$. Только при приближении к этой температуре, но не раньше, составные части ядра радиоактивного атома могут начать перестраиваться, подобно тому как это происходит с составными частями атома кальция при приближении температуры к 4800° .[⊙]

Действие излучения на атомы.

Длина волны в см	Природа излучения	Действие его на атом	Температура в абсолютной шкале	Где обнару- живается из- лучение
От 7500×10^{-8} до 3750×10^{-8}	Видимый свет	Возмущение внешних электронов	От 3830° до 7700°	Звездные атмосферы
От 250×10^{-8} до 10^{-8}	Рентге- новы лучи	Возмущение внутренних электронов	От $115\,000^\circ$ до $29\,000\,000^\circ$	Внутренние области звезд
От 5×10^{-9} до 10^{-9}	Мягкие γ -лучи	Отрыв всех или почти всех эле- ктронов	От $58\,000\,000^\circ$ до $290\,000\,000^\circ$	Централь- ные области плотных звезд
4×10^{-10}	γ -лучи радиа-В	Нарушение строения ядра	$720\,000\,000^\circ$	
5×10^{-11}	Наиболее короткие γ -лучи	—	$5\,800\,000\,000^\circ$?
$1,3 \times 10^{-13}$	Проника- ющее из- лучение (?)	Уничтоже- ние или со- здание про- тона и свя- занного с ним эле- ктрона	$2200\,000\,000\,000^\circ$	

⊙ Если мы предположим, что переустройство атомного образова-
ния может быть достигнуто также и бомбардировкой материальными

Этим, конечно, объясняется, почему никакая температура, достижимая на земле, не может ни способствовать, ни противодействовать процессам радиоактивного распада.

В таблице на стр. 182 приведены длины волн излучения, требуемого для осуществления того или иного атомного преобразования. В двух последних столбцах ее указаны температуры и те условия, при которых такие температуры, насколько нам известно, достигаются; в этих двух столбцах предвосхищены некоторые результаты, о которых мы будем говорить в V главе.

Там, где температура значительно ниже показанной в предпоследнем столбце, соответствующие преобразования не могут происходить под влиянием теплоты и возможны лишь как самопроизвольные явления. В этом последнем случае они являются вполне односторонними. Так как длина волны наличного излучения здесь недостаточно мала, чтобы привести в действие атомный автомат, то атомы не поглощают из окружающего излучения никакой энергии и поэтому опускаются все ниже и ниже к состояниям меньшей энергии, если таковые имеются.

ПРОНИКАЮЩЕЕ ИЗЛУЧЕНИЕ.

Самое короткое излучение, о котором мы до сих пор говорили, представляют собой γ -лучи; однако из последней строки только что приведенной таблицы видно, что существует излучение с длиной волны, меньшей еще в 400 раз.

В результате работ Резерфорда, Кука, Гесса, Мак-Леннана, Бертона, Кольхерстера и особенно Милликена

частицами, то температура, соответствующая по законам теории газов процессу этой бомбардировки электронами, ядрами или молекулами, становится действительной лишь при приближении ее к той температуре, при которой обнаруживается впервые излучение соответствующей эффективной длины волны; оба процесса начинаются при приблизительно одинаковых температурах.

уже с 1902 года известно, что земная атмосфера непрерывно пронизывается излучением несравненно большей проникающей силы, чем у каких-либо известных нам γ -лучей. Направляя баллоны-зонды в очень высокие слои атмосферы, Кольхерстер, а также Милликен и Боуэн нашли, что это излучение на большой высоте значительно интенсивнее, чем на поверхности Земли; из этого следует, что оно проникает в земную атмосферу извне. Если бы это излучение зарождалось на Солнце или на звездах, то большая часть того излучения, которое достигает Земли, получалась бы ею от Солнца; следовательно это излучение было бы менее интенсивно ночью, чем днем. Но так как этого не наблюдается, то звезды источниками данного излучения служить не могут, и поэтому оно должно возникать в туманностях и космических массах материи, отличной от звезд. Милликен полагает, что источники его находятся вне галактической системы.

Сила этого излучения значительна. По определениям Милликена и Камерона, это излучение даже на уровне моря, где оно минимально, разбивает каждую секунду 1,4 атома в каждом кубическом см воздуха. Надо думать, что оно разбивает также в каждую секунду и миллионы атомов в наших телах, но мы не знаем, каковы могут быть его физиологические действия. Общая энергия этого излучения, получаемого Землей, составляет приблизительно десятую часть общей энергии всего излучения, т. е. света и теплоты, получаемых Землею от всех звезд. Но это не значит, что общее количество света и тепла во вселенной в целом в десять раз превышает количество проникающего излучения. Если это излучение действительно зарождается во внегалактических областях, то его источник значительно дальше от Земли, чем звезды, от которых идут к нам свет и тепло. Взяв среднее по всему пространству, включая и обширные области между туманностями, мы обнаружим, что проникающее излучение повидимому значительно обильнее звездного света и тепла; таким об-

разом оно представляет собой самый распространенный тип излучения во вселенной вообще.

Из всех известных видов излучения оно обладает и наибольшей проникающей силой. Обыкновенный свет почти совсем не проходит через металлы или другие твердые тела; только самая ничтожная его часть проходит через тончайшие золотые листки. Рентгеновы лучи, обладая более короткой длиной волны, и поэтому более энергичными квантами, проходят через листы золота или свинца толщиной в несколько миллиметров. Наиболее проникающие γ -лучи радия-В проходят через несколько сантиметров свинца. У излучения, о котором сейчас идет речь, проникающая сила не всегда одинакова; максимум оно проходит через 5 м свинца.

До сих пор еще не вполне ясно, соответствует ли это излучение по своей природе коротким γ -лучам, или же оно корпускулярной природы, как β -излучение; оно может быть даже и комбинацией обоих типов. Его проникающая сила значительно превосходит проникающую силу β -лучей, так что, если оно корпускулярной природы, его частицы должны двигаться почти со скоростью света. Но если, что более вероятно, это излучение той же природы, что и γ -лучи, то по его проникающей силе можно было бы определить его длину волны. В этом направлении до последнего времени было предложено несколько теорий. Новейшая из них, теория Клейна-Нишина, значительно более совершенная и законченная, чем все предыдущие, приписывает наиболее проникающей части этого излучения поразительно короткую длину волны в $1,3 \times 10^{-13}$ см, как и указано в таблице на стр. 182.

Мы вероятно лучше всего поймем, что это может означать, если вспомним правило «предела 860»; из него следует, что проникающее излучение в состоянии разбить атомное образование размером около 10^{-16} см. Между тем ни одно образование, составленное из протонов и электронов, не может быть настолько мало, так как даже

радиус отдельного электрона порядка 2×10^{-13} см; проникающее излучение обладает примерно той длиной волны, которая требуется, чтобы разбить самый протон, т. е. наименьшее и наиболее компактное образование, известное нам в природе вообще.

Но с другой стороны из приведенных уже численных соотношений вытекает, что квант излучения такой длины волны должен обладать энергией в 0,0015 эрг и следовательно массой в $1,7 \times 10^{-24}$ г. Каждый физик сразу узнает это число, так как масса водородного атома по наилучшим ее определениям получается равной $1,662 \times 10^{-24}$ г. Следовательно квант проникающего излучения обладает приблизительно такой же массой и такой же энергией, какая получилась бы при внезапном уничтожении водородного атома и освобождения всей его энергии в форме излучения.

Трудно предположить, что все проникающее излучение, достигающее Земли, обязано своим происхождением уничтожению водородных атомов. Такая гипотеза несостоятельна, хотя бы уже потому, что во вселенной вряд ли существует для этого достаточное количество водородных атомов. Атом водорода состоит из протона и электрона, и его масса приблизительно равна суммарной массе протона и электрона, выделенных из любого атома во вселенной; поэтому с достаточным приближением можно сказать, что квант проникающего излучения обладает длиной волны и энергией, которые получались бы в результате соединения и взаимного уничтожения протона и электрона в любом атоме. Мы видели, что массы различных типов известных нам атомов приближенно равны целым кратным массы атома водорода, или, точнее говоря, что они отличаются друг от друга на некоторое число одинаковых весовых единиц; каждая из них приближенно равна массе атома водорода. Масса одного кванта проникающего излучения соответствует одной такой весовой единице; поэтому квант его может возникнуть при всяком переоб-

разовании атома, при котором масса этого атома уменьшается на одну такую единицу. В самом общем случае это уменьшение массы, насколько мы можем судить, происходит при слиянии протона и электрона, влекущем за собой их обоюдное уничтожение.

Хотя именно в этом надо искать, несомненно, самый вероятный источник проникающего излучения, тем не менее нужно признать, что уничтожение вещества не является его единственным допустимым источником. Возьмем например самый обычный изотоп ксенона, элемента с атомным числом 54 и атомным весом 129; он состоит из 129 протонов, 75 ядерных электронов и 54 орбитальных электронов. Можно показать, что внезапное образование атома из 129 протонов и из 129 электронов повлекло бы за собой потерю массы, равную почти в точности массе атома водорода. Поэтому, если бы образование такого атома могло произойти абсолютно мгновенно, так чтобы вся освобожденная энергия излучалась при этом катастрофически в виде одного единственного кванта, то этот квант обладал бы почти той же длиной волны и проникающей силой, как у наблюдаемого проникающего излучения. Несколько времени тому назад Милликэн указывал на то, что и образование других сложных атомов из более простых составных частей может являться источником проникающего излучения; однако предложенными им схемами повидимому нельзя объяснить появления излучения с достаточно короткой длиной волны, во всяком случае, если правильна современная теория Клейна-Нишина.

Правда, с чисто физической точки зрения такие схемы нельзя признать невозможными, но их приходится считать сомнительными в виду их слишком малой вероятности. Атом ксенона с его 258 составными частями есть чрезвычайно сложное образование, и весьма трудно допустить, чтобы эти 258 составных частей могли быть сколочены в один вполне сформированный атом единым мгновенным актом, сопровождающимся катастрофическим испуска-

нием одного кванта излучения. Заметим, что у нас нет ни малейших указаний на то, чтобы построение атомов происходило именно таким путем в природе; но если атомы действительно строятся из простых составных частей, то представляется гораздо более вероятным, что соединение этих частей происходит отдельными этапами, так что излучение испускается при этом не в одном большом кванте, а скорее в нескольких малых. К тому же, предлагая подобные гипотезы, мы должны смотреть на равенство полученной из теории массы кванта наблюдаемого проникающего излучения и хорошо известной нам массы водородного атома как на результат совершенно случайного совпадения. Более того, нам пришлось бы предположить, что атомы ксенона, а возможно и атомы других элементов приблизительно одинакового с ним атомного веса, образуются в природе гораздо чаще, чем атомы элементов, существенно отличных от них по своему атомному весу. Но количество проникающего излучения, достигающего Земли, так велико, что если бы мы могли видеть в нем доказательство образования атомов ксенона, то значительная часть вселенной состояла бы уже из ксенона, быть может в смеси с другими элементами приблизительно одинакового с ним атомного веса. Однако это отнюдь не соответствует действительности: мы знаем, что ксенон и соседние с ним элементы в периодической системе принадлежат к числу самых редких элементов вообще. По этим причинам, и следуя общему правилу, по которому в физике должно отдавать предпочтение простейшим и более естественным гипотезам, мы останавливаемся на предположении, что наиболее вероятным и приемлемым источником проникающего излучения является не образование сложных атомов, а уничтожение протонов и электронов.

На этом мы и оставим пока нашу проблему в таком невыясненном виде; однако в дальнейшем мы увидим, что астрономия может пролить некоторый свет на этот вопрос.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ.

ВСЕЛЕННАЯ ВО ВРЕМЕНИ.



Мы изучали пространство до величайших глубин, доступных телескопам; мы исследовали и лабиринт тех крошечных образований, из которых построена вся материальная вселенная и которые мы называем атомами. Теперь мы хотим приступить к изучению вселенной во времени. Продолжительность жизни отдельного человека и даже вся продолжительность исторических времен, т. е. не больше нескольких тысяч лет, — все это по своей краткости совершенно непригодно для нашей цели. Для промера глубин прошедших эпох и для проникновения вперед, в будущее, нам нужно найти мерные линейки совершенно иной длины.

Наш метод, вообще говоря, будет соответствовать тому, с которым мы знакомимся в геологии. Не смущаясь отсутствием непосредственных исторических данных, геолог настаивает на том, что жизнь существовала на Земле в течение миллионов лет, потому что ископаемые формы живых существ обнаруживаются под отложениями, для образования которых, по его подсчету, требовались миллионы лет. Доходя последовательно до все более глубоких слоев, геолог ведет изучение Земли во времени совершенно так же, как географ, путешествуя по Земле, ведет изучение ее в пространстве. Подобный же метод может быть применен и в астрономии. Мы наблюдаем астрономические явления, качества и свойства, которые обнаруживают непрерывное нарастание или уменьшение, подобно песку в верхней или нижней половине песочных

часов; мы определяем скорость, с которой это нарастание или уменьшение происходит в настоящее время, и, когда можно, ту скорость, с какой они должны были протекать в прошлом при господствовавших тогда условиях. После этого к задаче простой арифметики (хотя иногда и к вопросу из более высоких областей математики) сведется проблема определения времени, протекшего от начала данного процесса.

ВОЗРАСТ ЗЕМЛИ.

Хорошим примером применения этого метода может служить относительно простая проблема определения возраста Земли.

Первая попытка оценить возраст Земли принадлежит астроному Галлею (1715 г.). Реки ежедневно уносят к морю определенное количество воды; она заключает в себе небольшие количества растворенной соли; вода испаряется и в должном порядке вновь возвращается в реки; но соль не возвращается. В силу этого количество соли в океанах увеличивается; с каждым днем они содержат немного больше соли, чем накануне, и потому степень солености океана в настоящее время может послужить к определению времени, в течение которого нарастало в нем содержание соли. «Таким образом, — писал несколько оптимистично Галлей, — мы находим способ назначения длительности всех вещей».

Однако работы, выполненные по этому методу, не дают достаточно точных результатов; вычисления, основанные на современных данных, приводят только к общему выводу, что возраст Земли должен быть порядка многих сотен миллионов лет.

Более удовлетворительные результаты получаются из изучения роста отложений, смываемых дождем.

С каждым годом происходит некоторая нивеллировка земной поверхности; почва, лежавшая в прошлом году высоко на склонах гор и холмов, теперь уже смыта до-

ждями на илистое речное дно и непрерывно уносится в море. Одна лишь Темза выносит ежегодно в море от одного до двух миллионов тонн почвенных образований. Сколько времени простоит Англия при таком ходе вещей, и как долго могла она существовать? Уже в течение нашей собственной жизни мы наблюдаем, как из больших масс почвы в прибрежных областях образуются оползни, которые либо целиком опрокидываются в море, либо скользя ближе к уровню воды. Значительная часть южного берега о. Уайт исчезает на наших глазах. Геолог имеет возможность определить, с какой быстротой происходят эти и им подобные процессы, и следовательно может вывести, сколько времени должны были нарастать отложения, чтобы привести к наблюдаемой толщине геологических слоев.

Мощность их очень значительна. Проф. А. Хольмс[⊗] приводит следующие данные в отношении их максимальной толщины:

Докембрийские	по крайней мере	55 000 м
Палеозойская эра (геолог. древность)	» » »	56 000 м
Мезозойская » (» средние века)	» » »	28 000 м
Кайнозойская » (» новая эпоха)	» » »	22 000 м

Мы можем составить себе общее представление о скорости образования этих отложений. С тех пор как Рамзес II царствовал в Египте, т. е. больше чем за 3000 лет, отложения наслаивались в Мемфисе со скоростью 1 дм в 130—160 лет; экскаватор должен пройти глубину от 2 до 3 м, чтобы дойти до поверхности Египта времен Рамзеса II.

Быстрота выветривания С.-Американского материка в нашу эпоху соответствует 1 дм в 3000 лет; в Англии она равна 1 дм в 1000 лет.

[⊗] В вопросе о возрасте Земли автор близко придерживался книги проф. Хольмса на эту тему (Holmes, The Age of the Earth). Имеется русский перевод в серии «Новейшие течения научной мысли», Гиз, 1930.

Если мы примем среднюю быстроту образования отложений в 1 дм за 300 лет, то на 159 000 м отложений, указанных в таблице, потребовалось бы около 500 миллионов лет; если возьмем для этой скорости 1 дм на 1300 лет, то этот период выходит порядка двух миллиардов лет.

Этот метод определения продолжительности геологических эпох называют иногда «геологическими песочными часами». Мы отмечаем, сколько уже ссыпалось песку, определяем, какова быстрота его течения в данный момент, и вычисляем, сколько времени прошло с тех пор, как песок начал течь. Этот метод страдает обычным недостатком всех песочных часов: у нас нет гарантии в том, что песок сыпался все время с одинаковой быстротой. Геологические методы достаточны лишь для общего вывода, что возраст Земли должен быть порядка сотен миллионов лет; но для получения более точных его определений нужно призвать на помощь более точные методы физики и астрономии. По счастью, радиоактивные элементы, о которых мы говорили в предыдущей главе, представляют собой систему превосходных часов, ход которых, по всему, что мы о них знаем, не меняется ни на иоту на протяжении веков.

Уже было указано, что по истечении достаточного промежутка времени 1 г урана распадается на 0,865 г свинца и 0,135 г гелия. Процесс распада является совершенно самопроизвольным; никакое физическое воздействие в мире не может ни ускорить, ни задержать его хотя бы в ничтожной степени. В следующей таблице показана быстрота хода этого процесса:

История одного грамма урана.

Вначале:	урана	1,000 г,	свинца	0,000 г.
Через 100 миллионов лет:	»	0,985	»	0,013
» 1000	»	»	0,863	» 0,116
» 2000	»	»	0,747	» 0,204
» 3000	»	»	0,646	» 0,306

и т. д. Таким образом небольшое количество урана может служить отличными часами, если только мы в состоянии

измерить количество свинца, которое образовалось из него к данному времени, а так же и количество остающегося урана. Когда началось отверждение Земли, уран оказался внедренным в незначительных дозах в горные породы; мы пользуемся этим теперь для определения возраста Земли. Конечно, мы не в праве предполагать, что весь свинец, который находят теперь совместно с ураном, произошел за счет радиоактивного распада урана. Но, по счастью, свинец, являющийся продуктом радиоактивного распада урана, слегка отличается от обыкновенного свинца; атомный вес первого равен 206,0, в то время как атомный вес обыкновенного свинца 207,2. Таким образом с помощью химического анализа любой радиоактивной породы можно точно установить, какое количество всего имеющегося в ней свинца является обыкновенным свинцом и сколько произошло за счет распада урана. Отношение количества свинца этого сорта к количеству нераспавшегося еще урана приводит к точному определению продолжительности процесса распада.

Подвергая подобному анализу различные горные породы, получают, вообще говоря, один и тот же результат: по «радиоактивным часам» время, протекшее после затвердевания Земли, определяется в 1,4 миллиарда лет или несколько больше. Эти часы не могут показать нам, сколько времени перед тем Земля существовала в пластичном или жидком состоянии, потому что в этом состоянии продукты распада могли легко быть разобщены друг от друга.

Астон обнаружил недавно новый изотоп урана, названный актино-ураном (стр. 159). Так как уран и его изотоп обладают различными периодами распада, то относительное наличие их на Земле должно непрерывно изменяться. Исходя из отношения количества этих веществ, сохранившихся теперь на Земле, Резерфорд вычислил, что возраст ее не может превышать 3,4 миллиарда лет, и вероятно он существенно короче.

Таким образом оба физических определения времени, протекшего после отвердения Земли, дают такие результаты:

Возраст Земли по радиоактивным часам.

1. Из отношения уран — свинец в радиоактивных породах. больше 1,4 миллиарда лет.
2. Из относительного наличия урана и актино-урана. меньше 3,4 миллиарда лет.

Различные астрономические методы тоже могут найти применение для определения продолжительности бытия солнечной системы. Здесь «часами» являются формы орбит различных планет и их спутников. Скорость изменения орбит не остается постоянной, но она подчинена определенным законам, так что математик может определить быстроту этих изменений в условиях, имевших место в прошлом; затем, подводя итог, он может найти, какой промежуток времени потребовался для создания современных условий. Следующие два определения принадлежат д-ру Джеффрису:

Возраст солнечной системы по астрономическим часам.

1. По орбите Меркурия. от 1 до 10 миллиардов лет.
2. По орбите Луны по грубому подсчету около 4 миллиардов лет.

Хотя из всех этих результатов и нельзя получить сколько-нибудь точного определения возраста Земли, все же они в совокупности указывают на то, что он измеряется миллиардами лет. Если мы пожелаем остановиться на круглом числе, то, вероятно, два миллиарда лет есть лучшее, что тут можно принять.

ВОЗРАСТ ЗВЕЗД.

Перед нами теперь гораздо более трудная проблема определения возраста звезд.

Мы подойдем к ней не прямой фронтальной атакой, но начнем далеко от нашей действительной цели. Нам

лучше опять перенестись на другой конец мироздания и несколько подробнее изучить свойства газов.

Равномерное распределение энергии в газах. Мы сравнивали газообразное состояние с хаотическим полетом молекул-пуль. Они летят по всем направлениям и иногда сталкиваются друг с другом; при этом у них меняются и скорость и направление полета. Мы знаем, что общая энергия движения не уменьшается при таких столкновениях. Если у одной из столкнувшихся молекул скорость упадет, то у другой она увеличится, и притом настолько, что энергия, потерянная одной молекулой, будет приобретена другой. Общая энергия движения, как говорят, «сохраняется».

Допустим теперь, что в этот рой пуль мы воткнули гораздо более тяжелый снаряд, скажем — пушечное ядро, сообщив ему при этом скорость, равную приблизительно средней скорости движения пуль. Энергия движущихся тел пропорциональна совместно и их массам, и квадратам их скоростей; поэтому в нашем случае, при почти равных скоростях, энергия снаряда больше энергии пуль, просто потому, что масса его больше. Если она равна массе тысячи пуль, то и энергия его в тысячу раз больше энергии каждой отдельной пули.

Однако тяжелый снаряд не сможет очень долго расталкивать толпы своих маленьких спутников, сохраняя свой тысячекратный запас энергии. Прежде всего ему придется испытать целый град ударов в лоб. Действительно, очень немного пуль могут настичь его сзади; все они движутся примерно с той скоростью, как он сам, и потому только в редких случаях могут его догонять. Более того, эти удары сзади должны быть очень слабыми, раз пули вообще могут лететь только чуть-чуть скорее снаряда. Но град попаданий спереди имеет серьезное значение: каждое из них должно сбивать его скорость, а следовательно и уменьшать его энергию. Но так как общая энергия движения при каждом ударе сохраняется, то оказывается, что

большой снаряд будет ее непрерывно терять, тогда как пули будут выигрывать энергию за его счет.

Как долго будет продолжаться этот обмен энергиями? Не продлится ли он например до тех пор, пока большой снаряд не потеряет всю свою энергию и не будет приведен к полному покою? Такую задачу можно предложить математику; она допускает точное решение, которое Максвелл дал еще в 1859 году. Большой снаряд не лишится всей своей энергии. В то время как скорость его падает, общее состояние системы меняется самым различным образом. Учитывая все эти изменения состояния, мы найдем, что энергия большого снаряда будет уменьшаться, но не до потери ее целиком, а лишь до тех пор, пока у него не останется столько же энергии, сколько ее имеется в среднем у каждой из пуль. Как только это состояние будет достигнуто, дальнейшие попадания пуль будут в среднем в такой же мере увеличивать его энергию, как и ее уменьшать; таким образом в конце концов его энергия будет колебаться около некоторого значения, равного среднему значению энергии каждой отдельной пули.

Максвелл и другие физики после него доказали, что, независимо от того, сколько различных типов молекул имеется в газе, и независимо от того, насколько эти молекулы различаются по своей массе, их повторные столкновения непременно приведут к такому состоянию газа, при котором большие и малые, легкие и тяжелые молекулы будут обладать в среднем одинаковой энергией. Это и носит название теоремы о равномерном распределении энергии. Она вовсе не означает, что в любой момент все молекулы будут иметь в точности одинаковую энергию; очевидно, такое положение вещей не могло бы продолжаться ни на одно мгновение, так как первое столкновение пары молекул немедленно нарушило бы его. Но взяв среднее значение энергии каждой молекулы за достаточно долгий промежуток времени (скажем на-

пример — за одну секунду, что в жизни молекулы есть действительно длинный промежуток, так как за это время она подвергается по крайней мере ста миллионам столкновений), мы найдем, что средняя энергия всех молекул оказывается одинаковой, и притом независимо от их масс.

Та же самая теорема может быть высказана и в несколько другой форме. Воздух состоит из смеси молекул разного рода и различных масс, именно из очень легких молекул гелия, из гораздо более тяжелых молекул азота, каждая весом в семь молекул гелия, и из еще более тяжелых молекул кислорода, весом в восемь молекул гелия каждая. Формулируя теорему о равномерном распределении несколько иначе, мы можем сказать здесь, что в каждый момент средняя энергия всех молекул гелия, несмотря на их легкий вес, в точности равна средней энергии всех молекул азота, а эта последняя в точности равна средней энергии всех молекул кислорода. Легкие молекулы искупают свою незначительную массу скоростями движения. Подобное же утверждение будет применимо, конечно, и в отношении любой другой смеси газов.

Справедливость этой теоремы доказана опытным путем очень разнообразными методами. В 1846 г. Грэхам определял относительные скорости движения молекул различных газов, измеряя скорость истечения их через отверстия в пустоту. Эти скорости оказались такими, что средние значения энергий молекул различных типов получились в точности равными между собой. Еще раньше этого Лесли и другие пользовались тем же способом для определения относительных молекулярных весов разных газов (хотя они не вполне уясняли себе теоретическую основу метода). Таким образом можно считать твердо установленным законом природы, что ни одной молекуле не дано сохранить навсегда больше энергии, чем всем остальным в том же газе. В отношении энергии движения газ представляет собой прекрасно организованный коллектив, в котором неумолимый закон принуждает молекулы

разделять между собой их энергию на началах равенства и справедливости.

С некоторыми незначительными оговорками тот же закон применим также и к жидкостям и к твердым телам. На жидкостях и на газах мы можем поставить опыт, воспроизводящий схему примера со снарядом, пущенным в гущу молекул-пуль, и ждать, что произойдет. Так например, можно взять несколько частиц очень мелкого порошка, вроде толченого гуммигута или семян лycopодия, и предоставить им играть роль сверх-молекул среди обыкновенных молекул газа или жидкости. В сильный микроскоп мы увидим тогда, что эти сверх-молекулы не приводятся к полному покою, но сохраняют некоторое оживленное движение, так как они подвергаются непрерывным толчкам со стороны малых и совершенно невидимых нам действительных молекул. У наблюдателя создается впечатление, будто они подвержены хронической виттовой пляске, не обнаруживающей никаких признаков ослабления с течением времени. Эти движения называются броуновскими по имени ботаника Роберта Броуна, который впервые наблюдал их в соках растений. Первоначально Броун принимал это за доказательство того, что частицы, у которых обнаруживаются подобные движения, ведут себя как живые организмы; но затем, открыв, что с частицами воска происходит то же самое, он должен был отказаться от своего взгляда. С помощью изумительно тонких опытов Перрэн не только наблюдал, но и измерял броуновские движения твердых частиц, подвергая их бомбардировке молекулами воздуха и других газов; он получил отсюда с большой точностью значения масс молекул этих газов.

Равномерное распределение энергии движения звезд. Мы можем вернуться теперь к звездам. Теорема о равномерном распределении энергии верна не только в отношении молекул газа или для твердых тел и для жидкостей; она верна также и для звезд. Математические рассу-

ждения одинаково приложимы и к очень малому и к очень большому; теорема, доказанная для крошечных атомов, одинаково правильна и для потрясающих своими размерами звезд, — предполагая, конечно, что предпосылки, на которых эта теорема основана, остаются в силе и не страдают при переходе от малого конца мироздания к его большому концу.

Между тем оказывается, что условия применимости теоремы о равномерном распределении изумительно просты; трудно даже заставить себя поверить в то, что столь глубокие следствия могут вытекать из условий настолько простых. Фактически они сводятся исключительно к закону непрерывности и к закону причинности; иными словами, требуется, чтобы состояние системы в данный момент вытекало неизбежно из ее состояния в предыдущий момент, или — если угодно — чтобы молекулы или иные тела, о движении которых идет речь, не обладали свободной волей. При том смятении, которое наблюдается сейчас в отношении основных законов физики, мы не можем быть вполне уверены в том, насколько эти весьма простые условия выполняются в проблемах молекулярной физики; тем не менее обширный наблюдательный материал доказывает с очевидностью, что в обыкновенных газах осуществляется закон равномерного распределения, во всяком случае с чрезвычайно высоким приближением.

С другой стороны у нас нет ни малейших сомнений в том, что определяет собою движение звезд; это закон тяготения, по которому каждая звезда притягивает другую с силой обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними. Такова формулировка закона тяготения по Ньютону; но для нашей цели совершенно безразлично, применять ли его в формулировке Ньютона или Эйнштейна, так как в проблемах звездной динамики обе эти формы практически неотличимы, и один и тот же весьма обширный наблюдательный материал (в особенно-

сти относящийся к орбитам двойных звезд) одинаково говорит в пользу той и другой. Здесь нам важно подчеркнуть, что закон равномерного распределения энергии может быть выведен применительно к звездным движениям из одного лишь допущения, что эти движения подчинены закону тяготения в одной из указанных его форм или даже любому иному закону взаимодействия, лишь бы этот закон не отличался от них в корне. Тонкого анализа условий движения не требуется; достаточно одного закона тяготения вместе с исходным предположением о том, что звездам не дано проявлять свободной воли и решать, будут ли они подчиняться закону тяготения или нет.

Важно отдать себе совершенно ясный отчет в том, что означает эта теорема в применении к звездам. Конечно, она не говорит, что все звезды на небе обладают равной энергией; она даже не утверждает, что тяжелые массивные звезды обладают в среднем той же энергией, что и легкие звезды. Ее смысл сводится к тому, что если поместить в пространство любую совокупность разнообразных звезд и дать им возможность воздействовать друг на друга в течение достаточно долгого времени (это и есть основной момент), то звезды, у которых начальный запас энергии был чрезмерно высок, будут принуждены отдать избыток ее звездам с меньшей энергией, так что средняя энергия звезд различных типов будет по необходимости приведена к равенству за достаточно долгий срок.

В мире молекул взаимодействие между ними осуществляется через посредство их столкновений, и равномерное распределение энергии устанавливается уже с большим приближением после того, как каждая молекула испытает от восьми до десяти соударений. В воздухе, при нормальных условиях, для этого требуется всего лишь приблизительно одна стомиллионная секунды.

В отношении звезд речь идет о совершенно иных интервалах времени: столкновения могут случаться только

через тысячи миллиардов лет. Допустим на минуту, что звезды перераспределяют свою энергию только при действительных соударениях. Мы можем предположить, что состояние, достаточно приближающееся к условиям равномерного распределения, будет достигнуто и здесь лишь после того, как каждая звезда подвергнется от восьми до десяти столкновениям; но это потребовало бы действительно потрясающих интервалов времени. Однако в действительности в столь огромных промежутках вовсе нет необходимости; многочисленные гравитационные воздействия между звездами, даже находящимися на значительных расстояниях, выравнивают энергию гораздо более быстро и действенно, чем весьма редкие прямые соударения. Всякий раз как две звезды в своих странствованиях проходят случайно более или менее близко друг от друга, каждая из них несколько отклоняет другую с ее пути; направления и скорости движений обеих звезд изменяются — на мало или на много, это зависит от того, проходят ли звезды очень близко или на значительных расстояниях друг от друга. Короче говоря, каждое сближение звезд вызывает обмен энергиями, и эти повторные обмены приводят через достаточно долгий срок к равномерному распределению энергии между звездами, независимо от их масс.

Между тем одна из важнейших особенностей состояния звездной системы (ради которой мы и остановились на всем этом вопросе) сводится к следующему: наблюдения обнаруживают, что звезды различных масс движутся с различными средними скоростями, причем эти скорости таковы, что равномерное распределение энергии между звездами уже осуществлено в настоящее время — если не абсолютно точно, то с достаточно большим приближением.

При этих условиях вопрос о том, как долго должно было продолжаться взаимодействие между звездами, с тем, чтобы они могли достигнуть такого состояния, при-

обретает для нас исключительную важность: решив его, мы узнаем, как велик возраст звезд.

Звездные скорости. Мы уже видели, как определяются массы звезд, образующих двойные системы (стр. 75); из этих определений выяснилось, что массы звезд заключены, в общем, в пределах от ста солнечных масс до одной пятой его массы. Скорости движения двойных систем могут быть получены совершенно таким же способом, как и скорости одиночных звезд. Уже в 1911 г. Гальм по имевшимся к тому времени данным обнаружил, что наиболее тяжелые звезды движутся наиболее медленно. Он нашел, что самые массивные звезды имеют в среднем ту же энергию движения, как и самые легкие, у которых большие скорости искупают незначительность масс, и высказал предположение, что скорости звезд могут в такой же мере подчиняться закону равномерного распределения энергии, как скорости молекул газа. В звездных движениях, казалось, был обнаружен случай броуновского движения в грандиозном масштабе.

С тех пор было собрано еще значительное количество наблюдательного материала, и после исчерпывающего исследования д-ра Сирса на обсерватории Моунт Вильсон от 1922 года, не остается почти никаких сомнений в том, что в звездных скоростях обнаруживается действительное и весьма близкое приближение к равномерному распределению энергии. В следующей таблице (стр. 203) приведены окончательные результаты работы Сирса.

В первом столбце таблицы дана классификация звезд по их спектральным типам (стр. 78); во втором — соответствующие средние массы; как видно, у разных типов они существенно различны; отношение наибольших к наименьшим составляет 16 : 1. В третьем столбце приведены средние скорости звезд разных типов, и здесь обнаруживается, что самые тяжелые звезды движутся наиболее медленно, самые легкие — наиболее быстро. В четвертом столбце дана средняя энергия движения звезд соответ-

ствующего типа; оказывается, что звездные скорости от класса к классу меняются почти в точности так, как требовалось бы для равенства средних энергий движения всех звезд. Исключения, несомненно, имеются в первых двух строках таблицы, относящихся к самым тяжелым звездам вообще. Если же их исключить, то в остающихся строках отношение масс равно 10:1, между тем как отклонения энергии от ее среднего значения достигают в среднем только 9%.

Мы видим отсюда, что в движениях звезд действительно обнаруживается приближение, и притом весьма близкое, к равномерному распределению энергии. И естественно перед нами возникает вопрос: можно ли приписать

Равномерное распределение энергии звездных движений.

Тип звезд Спектральный класс	Средняя масса M (граммы)	Средняя скорость C (см/сек.)	Средняя энергия $\frac{1}{2} MC^2$ (эрги)	Соответствующая температура (градусы)
B3	$19,8 \times 10^{33}$	$14,8 \times 10^5$	$1,95 \times 10^{46}$	$1,0 \times 10^{62}$
B8,5	12,9	15,8	1,62	0,8
A0	12,1	24,3	3,63	1,8
A2	10,0	27,2	3,72	1,8
A5	8,0	29,9	3,55	1,7
F0	5,0	35,9	3,24	1,6
F5	3,1	47,9	3,55	1,7
G0	2,0	64,6	4,07	2,0
G5	1,5	77,6	4,57	2,2
K0	1,4	79,4	4,27	2,1
K5	1,2	74,1	3,39	1,7
M0	1,2	77,6	3,55	1,7

это приближенное равенство энергий какой-либо иной причине, кроме весьма длительного гравитационного взаимодействия между звездами? В том, что такое состояние могло быть вызвано гравитационным взаимодействием, мы не сомневаемся; но не мог ли привести к нему и какой-либо иной физический процесс? Ответ на этот вопрос мы найдем в числах последнего столбца таблицы; здесь показано, до какой температуры нужно нагреть газ с тем, чтобы каждая его молекула имела ту же самую энергию, как у звезд соответствующего типа. Но это вычисление может показаться бессмысленным. Звезда с массой в триллионы тонн мчится в пространстве со скоростью около $1\frac{1}{2}$ миллиона км в час; неужели же мы будем серьезно вычислять, до какой температуры должен быть нагрет газ, для того, чтобы каждая из его ничтожно-малых молекул обладала той же энергией движения, той же силой разрушения, — ибо, в сущности, ведь к этому сводится всякая энергия движения, — как звезда? Несомненно, это вычисление лишено смысла; но оно с тем и проведено, чтобы служить как бы доказательством от противного. Если бы наблюдаемое распределение энергии было достигнуто действием какого-либо физического процесса в окружающей среде, как например давлением лучистой энергии или бомбардировкой молекулами, атомами или быстрыми электронами, то этот процесс должен был бы протекать при температурах, приведенных в последнем столбце таблицы. Но порядок этих температур 10^{62} градуса. Мы можем быть вполне уверены, что таких температур в природе не существует, и отсюда получается, что наблюдаемое равномерное распределение энергии звездных движений не могло быть получено в результате каких-либо иных физических процессов; оно является следствием гравитационного взаимодействия между звездами.

Но если так, то возраст звезд измеряется просто тем промежутком времени, который потребовался для того, чтобы силы притяжения могли вызвать столь близкое при-

ближение к равномерному распределению, какое теперь наблюдается.

Определение продолжительности этого промежутка времени представляет собой сложную, но отнюдь не неразрешимую задачу. Все необходимые данные — в нашем распоряжении. Метод решения хорошо известен по аналогичной проблеме из теории газов; поэтому мы в праве ждать от математика достоверного и, насколько это допускает самый вопрос, точного ответа. Но даже и без его помощи нам нетрудно понять, что этот промежуток должен быть действительно очень велик.

Оставим пока в стороне все фактические числовые данные; пожалуй, нам будет легче исходить из той модели вселенной, которую мы построили в первой главе. Мы выбрали масштаб этой модели столь мелким, что звезды изображались в ней пылинками; и мы помним, что пространство так слабо заселено звездами, что эти пылинки надо было помещать в нашей модели на расстоянии $\frac{1}{2}$ км друг от друга. Говоря более конкретно, там было показано, что с шестью пылинками, разбросанными по всей территории вокзала Уотерло-Стэшен, получается все еще большая плотность распределения, чем у звезд в пространстве. Допустим теперь, что наша модель оживает и что звезды начинают в ней двигаться; чтобы выдержать пропорцию, необходимо уменьшить скорости звезд в том же отношении, как и линейные размеры модели. Но в ней годовая путь Земли вокруг Солнца длиной в 1 миллиард км был представлен в виде булавоочной головки окружностью приблизительно в 5 мм. Так как звезды движутся в пространстве в общем с тою же скоростью, как Земля в ее орбите, мы можем предположить, что каждая пылинка в нашей модели за год проходит примерно 5 мм. Таким образом в тысячу лет звезда пройдет 5 м; это примерно одна десятиллионная скорости хода улитки. Даже если бы две пылинки начали двигаться прямо друг на друга, им пришлось бы странствовать до

встречи 20 000 лет. Но сколько же времени должны плавать вслепую с этой скоростью по территории Уотерлоу Стэшен шесть пылинок, пока каждая из них не пройдет столько раз в достаточной близости от других, что энергия их движения подвергнется основательному перераспределению в силу этих встреч?

Математик производит вычисление с действительными массами, скоростями и расстояниями звезд и находит, что наблюдаемое распределение энергии, столь близкое к равномерному, требует гравитационных взаимодействий длительностью в биллионы лет, вероятнее всего от 5 до 10 биллионов лет. Следовательно такова должна быть и продолжительность жизни звезд.

Это интервал потрясающей длины, и прежде чем мы окончательно остановимся на нем, желательно найти для него подтверждение из других соображений. Определяя возраст Земли, мы имели возможность пользоваться помощью различных «часов»: астрономических, геологических и физических; к счастью, все они в общем не разошлись между собой. В данной проблеме в нашем распоряжении только астрономические часы; но и тут их имеется не менее трех, и снова их показания дают приблизительно один и тот же результат.

Орбиты двойных систем. Мы уже знаем, что составляющие двойной системы постоянно движутся друг около друга по замкнутым эллиптическим орбитам, так как ни одна из них не может освободиться от притягательной власти другой (стр. 74). Полная энергия складывается здесь из энергии поступательного движения этих систем в пространстве и из энергии орбитальных движений их составляющих. Строгий математический анализ обнаруживает, что длинная последовательность гравитационных воздействий от встречных звезд в конечном итоге приводит к равномерному распределению энергии, и притом не только энергии движения различных систем в пространстве, но и энергий, соответствующих разнообразным фор-

мам возможных орбитальных движений двойных систем. Допустим, что окончательное состояние равномерного распределения энергии достигнуто; это не значит еще, что все орбиты двойных звезд окажутся подобными друг другу; однако можно показать, что частота появления их форм подчиняется очень простому статистическому закону.[⊙] Между тем из наблюдений обнаруживается, что действительное распределение орбит двойных систем отнюдь этому закону не соответствует; отсюда следует, что звезды не прожили еще достаточно долго для того, чтобы достичь равномерного распределения энергии в отношении их орбитальных движений; и нам невозможно выяснить, как далеко прошли они по пути к равномерному распределению, не зная, с какого состояния или с каких состояний начался у них этот путь.

Вопрос о происхождении двойных систем будет разобран более подробно в следующей главе. В настоящий момент достаточно сообщить, что для их образования возможны были повидимому два пути.

Все небесные тела находятся в состоянии вращения вокруг своих осей. Земля совершает свой оборот в 24 часа, Юпитер даже меньше чем в 10 часов — это обнаруживается по движению красного пятна и других деталей на его поверхности. Внешние слои Солнца обращаются приблизительно в 26 дней. Мы следим за вращением Солнца, наблюдая, как солнечные пятна, факелы и другие образования на Солнце перемещаются параллельно его экватору. Имеются теоретические соображения в пользу того, что ядро Солнца вращается гораздо скорее, чем его внешние слои, и совершает полный оборот всего лишь в несколько дней. Весьма вероятно, что и все другие звезды также вращаются вокруг своих осей, неко-

[⊙] Эксцентриситеты орбит e распределяются так, что все значения e^2 , от 0 до 1, одинаково вероятны, т. е. должны встречаться одинаково часто.

торые быстрее, другие же более медленно. Мы увидим в дальнейшем, что звезды, старея, сокращаются в объеме и что это сжатие вызывает у них, вообще говоря, увеличение скорости вращения. Но математический анализ обнаруживает, что имеется критическая скорость вращения, за которую звезде опасно переходить; если она вращается со слишком большой, небезопасной скоростью, то она просто разлетится на части, как это может произойти с маховиком, приведенным в чрезмерно быстрое вращение. Так объясняется происхождение одного класса двойных звезд. За небольшими исключениями, этот класс совпадает со спектрально-двойными системами, о которых уже говорилось в первой главе (стр. 81); составляющие таких систем в общем случае остаются слишком близкими друг к другу, чтобы их можно было наблюдать в телескоп как две отдельные светящиеся точки, так что только спектроскоп обнаруживает, что мы имеем здесь дело с двумя отдельными телами.

Двойные системы другого класса, именно визуальные пары, видимые со всей ясностью в телескоп как две отдельные светящиеся точки, имеют, как можно полагать, совершенно иное происхождение. Мы увидим в дальнейшем, что звезды начинают свое бытие как сгустки газообразной материи в туманностях, причем при распаде одной большой туманности рождаются целые рои звезд. При этом должно часто случаться, что смежные сгустки окажутся настолько близкими друг к другу, что они не будут в состоянии уйти от взаимного гравитационного захвата. С течением времени размеры этих сгустков сокращаются до размеров обыкновенных звезд, но гравитационные силы остаются столь же мощными как и раньше, — и вот перед нами две звезды, которые должны путешествовать постоянно в пространстве как бы в парной упряжке, ибо у них нет достаточной энергии движения, чтобы освободиться от взаимной притягательной власти. Весь этот процесс приводит к образованию класса двой-

ных систем, совершенно подобных тем, которые получаются от дробления отдельных звезд, не касаясь лишь огромной разницы масштаба. Расстояния между составляющими такой системы должны быть сравнимы с исходными расстояниями между отдельными сгущениями первичной туманности, из недр которой образовались звезды; поэтому они неизмеримо больше, чем соответствующие расстояния у спектрально-двойных систем, где они близки к диаметру отдельной звезды, раздробившейся на части. Этим объясняется, почему мы можем наблюдать визуальные системы как пары светящихся точек и почему это невозможно для спектрально-двойных звезд.

При окончательном равномерном распределении энергии формы орбит, как мы видели, должны быть распределены в соответствии с простым статистическим законом. Этот закон распределения одинаков для орбит любой величины. Но с другой стороны те интервалы времени, которые необходимы для того, чтобы этот статистический закон выявился в процессе приближения к равномерному распределению энергии, отнюдь не одинаковы для орбит всяких размеров: эти интервалы гораздо больше для компактных орбит спектрально-двойных звезд, чем для более открытых орбит визуальных двойных систем. Причина этого заключается в том, что изменения формы орбит обуславливаются главным образом разностью притягательных действий встречной звезды на обе составляющие звездной пары. Когда эти составляющие очень близки друг к другу, встречная звезда оказывает практически одно и то же действие на каждую из них. Действие ее отражается на движении обеих составляющих совершенно одинаковым образом, и в результате получается изменение движения двойной звезды в пространстве как целого; но форма орбиты остается неизменной. С другой стороны, если составляющие находятся на больших расстояниях, гравитационные силы, действующие на каждую из них, могут оказаться существенно различными, так что

здесь вполне допустимо заметное изменение формы орбиты, даже если встреча произошла и не на очень близком расстоянии. У визуально-двойных систем, где расстояния между составляющими порядка сотен миллионов километров, для установления окончательного распределения эксцентриситетов²⁾ требуются интервалы времени порядка биллионов лет; но у более компактных орбит спектрально-двойных звезд для этого необходимо время, большее примерно в сто раз.

В таблице на стр. 211, составленной по данным д-ра Айткена (Ликской обсерватории), показано распределение эксцентриситетов орбит тех двойных звезд, для которых имеются точные определения.

Обратимся прежде всего к спектрально-двойным звездам. У наблюдаемых орбит, как мы видим, встречаются преимущественно слабые эксцентриситеты; у 78 из 119 они не достигают $\frac{1}{5}$. Другими словами, у большинства спектрально-двойных звезд орбиты оказываются приблизительно круговыми. Но теория и наблюдения показывают, что при распаде звезды на спектрально-двойную пару орбиты обеих составляющих должны быть приблизительно круговыми, и статистика наблюдаемых орбит, как видно по второму столбцу таблицы, дает, вообще говоря, очень мало указаний на какое-либо постепенное изменение их форм. Сравним это с данными последнего столбца таблицы, где показано, в какой пропорции были бы представлены орбиты различных эксцентриситетов в том случае, если бы могло быть окончательно достигнуто равномерное распределение энергии. Наибольшей частотой обладают здесь как раз большие эксцентриситеты, соответствующие весьма удлиненным орбитам; только одна орбита на двадцать пять других оказывается почти круговой с эксцентриситетом меньше одной пятой.

²⁾ Величина эксцентриситета, как показано на стр. 73, определяет форму эллиптических орбит.

Приближение к равномерному распределению энергии в орбитах двойных звезд.

Эксцентриситет орбиты	Наблюдаемое число спектрально-двойных звезд	Наблюдаемое число визуально-двойных звезд	Число орбит, ожидаемое по теории при достижении окончательного состояния
От 0,0 до 0,2	78	7	6
„ 0,2 „ 0,4	18	18	18
„ 0,4 „ 0,6	16	28	30
„ 0,6 „ 0,8	6	11	42
„ 0,8 „ 1,0	1	4	54

Мы видим таким образом, что статистические данные, приведенные во втором столбце таблицы, не имеют, вообще говоря, никакого сходства с теоретическими числами последнего столбца. Иными словами, у спектрально-двойных звезд отнюдь не наблюдается признаков приближения к окончательному состоянию: у большинства из них сохранились те слабые эксцентриситеты орбит, с которыми эти звезды начали свое бытие. Но этого мы и могли естественно ожидать, зная, что для достижения состояния равномерного распределения этим орбитам нужны сотни, если не тысячи биллионов лет; но звезды не могут быть так стары — иначе их поступательные движения в пространстве должны были бы совершенно точно соответствовать закону равномерного распределения, — чего на самом деле, как мы знаем, отнюдь еще не наблюдается.

Обращаясь теперь к третьему столбцу, мы находим, что у визуально-двойных систем обнаруживается достаточно хорошее приближение к окончательному состоянию равномерного распределения вплоть до эксцентриситета 0,6, но не дальше. Незначительность числа орбит

с большими эксцентриситетами может быть объяснена тем, что гравитационные силы не имели еще достаточно времени, чтобы вызывать появление наиболее вытянутых орбит; но частично, если даже не полностью, оно должно быть приписано очень простому обстоятельству: орбиты с большим эксцентриситетом весьма трудно обнаружить в наблюдениях и подвергнуть точному измерению.

-Резюмируя, мы можем сказать, что изучение орбитальных движений указывает на гравитационные взаимодействия звезд, длящиеся долгие биллионы лет. Это соответствует тому, что нам дало несколько выше изучение поступательных движений звезд в пространстве. Но и в том и в другом случае имеются свои исключения, которыми как бы подчеркивается смысл общего правила. В орбитальных движениях таким исключением являются спектрально-двойные системы; они настолько тесны, что могут не реагировать на действие сил притяжения, стремящихся растянуть их орбиты. В отношении поступательных движений в пространстве исключение представляют собой звезды типа *B*; они настолько массивны, а может быть и настолько молоды, что гравитационные воздействия менее тяжелых звезд еще не оказали значительного влияния на их движения.

Более подробный анализ в обоих указанных направлениях приводит все к тем же выводам; возраст звезд в общем близок к тому, который мы указали: его порядок — от пяти до десяти биллионов лет.

Движущиеся скопления. Можно остановиться вкратце еще на третьем методе, который приводит к тем же результатам в вопросе о возрасте звезд; столь заметные на небе группы ярких звезд, как Большая Медведица, Плеяды и Пояс Ориона, состоят в значительной мере из чрезвычайно массивных звезд, движущихся правильным строем в толчее более легких звезд, — подобно стае лебедей, летящих сквозь сбившиеся толпы грачей и скворцов. Лебеди постоянно выравнивают полет и потому сохраняют

свой строй. Звезды этого не могут, и потому их строй рано или поздно будет разрушен гравитационным воздействием других звезд. Конечно, первыми будут выбиты из строя более легкие звезды, более тяжелые дольше других останутся в строю. Данные наблюдений наводят на мысль, что именно это и происходит с движущимися звездными скоплениями; во всяком случае у звезд, продолжающих движение правильным строем, массы значительно больше средних звездных масс. Но мы можем вычислить время, необходимое для того, чтобы выбить из строя более легкие звезды, а это позволяет нам определить и возраст оставшихся в нем звезд.

Результат этого вычисления подтверждает приведенные уже данные; оказывается, что все три рода астрономических часов, находящихся в нашем распоряжении, показывают с достаточной точностью одно и то же; все они в согласии друг с другом говорят, что возраст звезд в целом имеет порядок от пяти до десяти миллиардов лет.

К аналогичному результату приводят нас и исследования в ином направлении, о котором речь будет ниже (стр. 220).

Быть может, покажется немного странным, что возраст звезд получается в несколько тысяч раз больше возраста Земли, хотя, конечно, нельзя привести никаких основательных аргументов против того, что Земля была рождена в последние моменты жизни звезд. Быть может, покажется немного странным и то, что найденный нами возраст звезд оказался гораздо больше того, к которому приводит нас — правда, в довольно смутной форме — космология де-Ситтера и Лемэтра. Если считать, что наблюдаемые скорости удаления наиболее далеких туманностей соответствуют их действительным движениям, то оказывается, что уже нескольких миллиардов лет движения с этими скоростями было бы почти достаточно, чтобы объяснить их современные расстояния. Таким образом несколько миллиардов лет тому назад туманности должны

были быть гораздо более тесно скучены в пространстве, чем теперь. Это, конечно, совсем еще не значит, что время, протекшее после образования туманностей, измеряется тоже промежутком всего лишь в несколько миллиардов лет; однако мы могли бы с известным основанием а priori полагать, что оба эти промежутка времени окажутся по крайней мере сравнимыми по своей величине.

Затруднение, с которым мы тут сталкиваемся, можно формулировать и несколько иначе: период в миллиард лет имел повидимому весьма существенное значение в жизни Земли и существенное значение для общего распределения больших туманностей в пространстве; поэтому странно, что он имеет настолько малое значение в жизни звезд и что для объяснения условий их современного состояния мы должны предположить их возраст бóльшим в тысячу раз.

Все эти соображения могут повидимому создать впечатление, что наше определение возраста звезд должно быть принято с осторожностью и пожалуй даже с некоторым подозрением. Однако если мы откажемся от него, то так много астрономических фактов останутся в воздухе без всякого объяснения, и столь обширная область астрономических работ придет в совершенный беспорядок (стр. 227—228), что у нас не остается иного выбора как принять это определение и считать, что звезды действительно прожили жизнь, продолжительность которой измеряется биллионами лет.

ИЗЛУЧЕНИЕ СОЛНЦА

За весь этот огромный промежуток времени Солнце несомненно излучало свет и теплоту по меньшей мере столь же обильно, как и теперь. Действительно, целый ряд фактов, к которым мы вернемся далее, доказывает, что молодые звезды излучают сильнее, чем старые, так что за значительно бóльшую часть его долгой жизни

Солнце должно было излучать энергию еще более щедро, чем сейчас.

Если наши предки размышляли когда-нибудь вообще на эту тему, они, вероятно, не видели ничего удивительного в этом мощном излучении света и тепла, тем более, что они не имели никакого представления о грандиозном интервале времени, в течение которого оно происходит. Только в середине прошлого столетия, когда впервые стало ясно значение закона сохранения энергии, вопрос об источнике солнечной энергии превратился в научную загадку, действительно выдающуюся по своей трудности. Излучение Солнца очевидно означает для него потерю энергии, а так как по закону сохранения энергии, энергия не может возникать из ничего, то эта энергия по необходимости должна была доставляться Солнцу из какого-то источника или запаса, достаточно мощного для покрытия его расходов на очень долгий срок. Но где же было искать эти запасы?

В настоящее время интенсивность излучения Солнца такова, что если бы необходимая энергия вырабатывалась на силовой станции вне Солнца, то эта станция должна была бы сжигать несколько триллионов тонн угля в секунду. Такой станции, разумеется, не существует. Солнце предоставлено всецело своим собственным ресурсам: это корабль в пустом океане. И если бы Солнце, как корабль, везло с собою свои запасы угля, или даже если бы все Солнце в целом представляло собой такой запас топлива (как это предполагал Кант), так что солнечный свет и тепло возникали бы за счет его сгорания, то Солнце прогорело бы до тла уже в несколько тысяч лет.

В истории науки известна лишь одна попытка объяснить солнечную энергию за счет притока ее извне. Мы знаем, что энергия движения снаряда преобразуется в теплоту, когда он внезапно теряет свою скорость. Астрономическим примером того же порядка служит общеизвестное явление метеоритов или падающих звезд. Это снарядо-

подобные тела, попадающие в земную атмосферу из внешнего пространства. Пока такое тело движется в пустоте, его падение к Земле происходит с возрастающей скоростью, но как только оно вступает в земную атмосферу, эта скорость начинает уменьшаться под влиянием сопротивления воздуха, и энергия его движения постепенно превращается в теплоту. Падающая звезда сперва разогревается, затем вспыхивает, испуская яркий свет, которым и объясняется ее видимость. В конце концов она совершенно испаряется и исчезает из виду, оставляя лишь за собой на несколько мгновений след из светящегося газа. Первоначальная энергия движения падающей звезды преобразовалась в свет и в теплоту — в свет, который делает ее видимой, и в теплоту, которая служит причиной ее окончательного испарения.

В 1849 г. Роберт Майер высказал предположение, что энергия, которую Солнце испускает в виде излучения, может притекать к нему от непрерывного падения в солнечную атмосферу метеоритов или подобных им тел. Но это предположение неприемлемо: простой расчет показывает, что даже рой таких тел с общей массой, равной массе Земли, едва ли мог бы поддержать излучение Солнца в течение одного столетия; падение же внешних масс, необходимых для поддержания солнечного излучения на 30 миллионов лет, должно было бы удвоить его массу. Так как совершенно невозможно допустить, чтобы масса Солнца могла увеличиваться с подобной быстротой, мы должны отказаться от гипотезы Майера.

В 1853 году Гельмгольц предложил очень похожую теорию; это знаменитая «контракционная гипотеза», по которой сжатие самого Солнца освобождает энергию, появляющуюся в конце концов в виде излучения. Если радиус Солнца сокращается на один километр, то внешние части его атмосферы спускаются тоже на один километр; при этом освобождается столько же энергии, сколько получилось бы от падения такой же массы метеоритов с той же

самой высоты. По теории Гельмгольца различные части самого Солнца играют ту роль, которую Майер предоставил метеоритам, падающим на Солнце извне; эту роль они должны были исполнять все снова и снова, пока Солнце не сократилось настолько, что дальнейшее его сжатие стало уже невозможным. Однако теория Гельмгольца, подобно теории Майера, не выдерживает численной проверки. В 1862 г. Кельвин установил, что сжатие Солнца до его настоящих размеров с трудом могло бы доставить ему запас энергии максимум на 50 миллионов лет излучения; между тем геологические данные (стр. 194) обнаруживают, что Солнце должно было излучать за неизмеримо большие периоды времени.

Для того чтобы искать подхода к действительным источникам солнечной энергии с некоторой надеждой на успех, мы должны оставить в стороне всякие догадки и подойти к проблеме с другого конца. Мы знаем, что излучение несет с собой массу (стр. 160), так что всякое излучающее тело по необходимости ее теряет; излучение, испускаемое маяком в 50 л. с., соответствует потере ее на 1,5 г в столетие. Далее оказывается, что каждые $6\frac{1}{4}$ кв. см поверхности Солнца как раз являются маяком мощностью почти ровно в 50 л. с.; отсюда мы заключаем, что с каждого кв. см поверхности Солнца материя истекает со скоростью 0,25 г в столетие. Эта потеря массы кажется нам довольно незначительной, пока мы не помножим ее на число кв. сантиметров, составляющих полную поверхность Солнца. Но тогда получается, что Солнце теряет массу со скоростью около 4 миллионов т в секунду, или приблизительно 250 миллионов т в минуту — примерно в 650 раз больше той массы воды, которая проходит в одну минуту через Ниагару.

Солнце и звезды в прошлом. Будем продолжать наши умножения, 250 миллионов т в секунду составляют 360 миллиардов т в день. Таким образом Солнце вчера весило на 360 миллиардов т больше, чем оно весит сегодня в то же

самое время, а завтра в это время оно будет весить еще меньше на 360 миллиардов т. Но 360 миллиардов т в день дают 131 биллионов т в год. С такими подсчетами мы можем сверлить сколько угодно глубоко в прошлое и продвигаться насколько того пожелаем в будущее. Но мы быстро сталкиваемся с тем затруднением, которое присуще подобным вычислениям: песок не всегда сыплется в песочных часах с одной и той же быстротой. Скорость, с которой Солнце теряет массу, не изменяется существенно от сегодня на завтра, или, быть может, даже за столетие или за миллионы лет; но идти так чересчур далеко нельзя. Если бы Солнце продолжало излучать с той же самой силой, как теперь, то простым делением можно было бы найти, что его жизнь будет длиться еще примерно 15 биллионов лет, — к этому сроку исчез бы последний грамм его вещества. Это дает нам мимоходом живое представление о грандиозности массы Солнца: прежде чем себя истощить, оно могло бы в течение 15 биллионов лет отдавать свою массу в пространство, расходуя ее в 650 раз сильнее, чем идет через Ниагару вода.

Но, очевидно, мы не можем вести наши вычисления этим простодушным способом; было бы нелепо предположить, что последняя тонна материи Солнца будет испускать излучение с той же силой, как теперь его масса в две тысячи квадриллионов (2×10^{27}) т. Целый ряд исследований, нашедших свое завершение в работе Эддингтона (1924 г.), привел к выводу, что, вообще говоря, действительная яркость или светимость звезды зависит преимущественно от ее массы. Зависимость эта не отличается ни большой точностью, ни общностью, но все же, когда нам задается масса звезды, мы в праве с большой степенью вероятности утверждать, что ее яркость заключена в определенных и довольно узких пределах. Так например звезды, масса которых приблизительно равна массе Солнца, обнаруживают и приблизительно одинаковую с ним действительную яркость. Вообще же говоря, как и можно

было предвидеть, легкие звезды излучают меньше, чем тяжелые, и кроме того — чего уже нельзя было предвидеть — различия в силе излучения оказываются у них значительно большими, чем их различия в массах. Закон, справедливость которого мы уже обнаружили для небольшого числа звезд вблизи Солнца (стр. 77), оказывается верным, хотя в несколько ином смысле, для всех звезд вообще: сила света звезды на тонну ее массы имеет наибольшее значение для самых тяжелых звезд. Так например звезды, масса которых в среднем равна половине массы Солнца, излучают отнюдь не половину солнечной энергии: отношение излучений будет здесь ближе к одной восьмой. Этот результат удлинит будущую жизнь Солнца и вообще всех звезд, в сущности, на неопределенно большой срок. Какая-то скупость подкрадывается повидимому к звездам в их дряхлости; пока у них достаточно массы, они расходуют ее самым расточительным образом; но когда запас ее истощается, они заметно сокращают свой расходный бюджет.

Песок бежит медленно в песочных часах, когда ему осталось уже мало течь.

Подобно сказанному, звезда, у которой масса в два раза больше массы Солнца, излучает не в два, а примерно в восемь раз сильнее его. Мы должны учесть это условие, вычисляя продолжительность истекшей жизни Солнца; очевидно, оно сокращает его прошедшую жизнь, так же как противоположный эффект удлинит бы его будущую жизнь. Мы знаем из наблюдений, с какой скоростью типичная звезда с данной массой в среднем расходует ее в виде излучения; отсюда, предполагая, что Солнце вело себя в прошлом как типичная средняя звезда в соответствующий период ее собственной жизни, мы можем составить таблицу, в которой показано постепенное изменение массы Солнца за его жизнь. Из такой таблицы мы извлекаем следующие данные:

Время, протекшее до настоящей эпохи	Во сколько раз масса Солнца была больше, чем теперь
2 миллиарда лет	1,00013
1 биллион "	1,07
26 биллиона "	1,16
5,7 биллиона "	2
7,1 биллиона "	4
7,4 биллиона "	8
7,5 биллиона "	20
7,6 биллиона "	100

Первая строка таблицы охватывает приблизительно время, прошедшее после рождения Земли. Мы видим, что за все существование Земли масса Солнца изменилась только на незначительную ее часть. Следовательно мы можем считать вероятным, — хотя, конечно, в этом у нас нет полной уверенности, — что, когда Земля произошла на свет, Солнце было приблизительно таким, как оно есть сейчас, и что во всех существенных чертах оно оставалось таким же и в течение всей жизни Земли.

Для того, чтобы подойти к более или менее отличным условиям, мы должны уйти в глубь веков, далеко за время рождения Земли. Мы можем это сделать, раз мы установили, что вся жизнь Земли есть только мгновение в жизни звезд. Мы нашли, что продолжительность бытия звезд имеет порядок от 5 до 10 биллионов лет, и, только уйдя на заметную долю этого огромного интервала, мы найдем, что масса Солнца заметно отличалась от ее современной величины. Так например нам надо уйти больше чем на 5 биллионов лет, чтобы найти Солнце с массой вдвое большей, чем теперь. Если же мы продвинемся еще значительно вглубь, то столкнемся с новым явлением: масса нашего предполагаемого прошлого Солнца начинает

увеличиваться огромными и неодинаковыми скачками; она удваивается и больше чем удваивается за каждые 100 миллиардов лет. Дойти до 8 биллионов лет, как видно, нельзя: тут для массы Солнца получается недопустимо огромная величина. Но отсюда мы в праве заключить, что рождение Солнца произошло несомненно где-то на интервале последних 8 биллионов лет.

Пусть точность числа нашей таблицы может казаться несколько сомнительной; во всяком случае, как общий результат наблюдений, остается вне спора, что очень массивные звезды излучают энергию, а следовательно и массу, с чрезвычайной скоростью. И в самом деле, этот процесс протекает у них настолько быстро, что мы можем оставить почти без внимания всю ту часть жизни звезды, когда ее масса остается еще примерно в десять раз больше массы Солнца; это время промелькнет у нее с быстротой молнии. Независимо от всяких точных вычислений, мы выводим из этого общего положения предел жизни не только для Солнца, но и для всякой другой звезды. Как сказано, для Солнца этот предел лежит несомненно где-то недалеко от 8 биллионов лет.

Все это достаточно хорошо сходится с тем общим определением возраста звезд порядка от 5 до 10 биллионов лет, которое мы получим из совершенно иных соображений для всех звезд вообще. Таким образом все эти вычисления взаимно подкрепляют друг друга, и у нас создается впечатление, что по крайней мере два куска той разрезанной картинки, о которой мы говорили во Введении, удовлетворительно прилегают друг к другу. И если бы все звезды на небе были подобны Солнцу, мы могли бы отнестись с основательным доверием к полученным результатам.

К несчастью перед нами возникают новые затруднения, как только мы обратимся к вычислению возраста звезд, у которых массы во много раз превышают теперь массу Солнца.

Мы знаем действительно (см. таблицу на стр. 203), что звезды спектрального класса *A0*, масса которых примерно в шесть раз больше массы Солнца, обладают такими движениями в пространстве, что закон равномерного распределения энергии ими в достаточной мере удовлетворяется. Если это не простая случайность (что мало вероятно в виду того, что и другие группы звезд с несколько меньшими массами тоже подчиняются этому закону), мы должны назначить возраст от 5 до 10 биллионов лет и этим массивным звездам. Однако звезда с такой массой излучает в среднем в сто раз сильнее, чем Солнце, и это равносильно тому, что масса ее уменьшается вдвое в 150 миллиардов лет. Очевидно, что говорить о возможной продолжительности такого процесса на 5 или 10 биллионов лет не приходится вовсе.

В случае еще более ярких звезд проблема становится еще острее. Звезда *S* созвездия Дорадус в Малом Магеллановом Облаке в настоящее время испускает в 300 000 раз больше излучения, чем Солнце. Если Солнце расходует свою массу, отдавая ее в пространство соответственно расходу воды в 650 Ниагарах, то *S* Дорадуса расходует свою массу как 200 миллионов Ниагар. За каждые 50 миллионов лет она теряет массу, равную всей массе Солнца. Очевидно, немислимо допустить, что эта звезда могла терять свою массу таким темпом в течение биллионов лет.

Повидимому для звезды типа *S* Дорадуса имеются только две возможности: или происхождение ее в астрономическом масштабе времен относится к недавнему прошлому, так что она в самом начале своей расточительной молодости; или же потеря массы была каким-то образом приостановлена на значительную часть ее жизни. Можно привести несколько доводов против предположения о недавнем происхождении этой звезды: она входит в состав звездного облака, и естественно ожидать, что все звезды в нем имеют приблизительно одинаковый возраст. У нас нет указаний на то, что в той области про-

странства, где она находится, все еще происходят рождения звезд. Но если мы даже примем гипотезу недавнего происхождения этой отдельной звезды, все равно нам не удастся объяснить, каким образом другие массивные звезды, подобно указанным в таблице на стр. 203, могут иметь достаточный возраст для того, чтобы равномерное распределение энергии уже установилось среди них.

По многим причинам здесь является более правдоподобным, а может быть даже и неизбежным, допустить, что эти чрезвычайно яркие и очень тяжелые звезды были каким-то образом спасены от энергичного излучения и сопутствующего ему быстрого расходования массы в течение значительной части их жизни. Короче говоря, мы предполагаем, что мы имеем здесь дело со случаями приостановленного развития, в которых и масса звезды и иные ее свойства приводят к одинаково неверным выводам в отношении ее возраста.

В дальнейшем нам придется говорить об одном физическом процессе (стр. 380 и след.), в котором подобное явление может найти простое и естественное объяснение. Эта гипотеза, если ее можно будет принять, разъяснит нам все положение вещей; раз только мы остановимся на ней, мы будем в праве назначить звездам какой угодно возраст и в частности выбрать тот, который получается из закона равномерного распределения энергии, во всяком случае для тех типов звезд, движение которых подчиняется этому закону.

Те исключительно яркие звезды, о которых мы только что говорили, являются сравнительно редкими объектами на небе. У значительного большинства звезд яркости и массы сравнимы или даже определенно меньше, чем яркость и масса Солнца: для таких звезд трудностей не возникает. И действительно, гипотеза приостановленного развития была бы раздавлена своим собственным весом, если бы нам пришлось применять ее ко многим звездам;

она приемлема только потому, что нам редко приходится обращаться к ней. Мы можем остановиться на том, что таблица на стр. 220 отображает историю Солнца в общем с достаточной точностью; таким образом мы признаем за ним возраст несколько меньший 8 миллиардов лет и считаем, что аналогичная таблица годится и для большинства звезд.

ИСТОЧНИКИ ЗВЕЗДНОЙ ЭНЕРГИИ.

Определяя возраст звезд в 5 или более миллиардов лет, мы тем самым утверждаем, что Солнце при его рождении имело массу вдвое, а вероятно и в несколько раз большую, чем теперь. От каждой тонны материи, заключавшейся в Солнце при его рождении, в нем остается теперь всего лишь несколько сот килограммов. Остальная часть этой тонны была преобразована в излучение и, истекая в пространство, оставила Солнце навсегда. В предыдущей главе мы имели случай говорить о том преобразовании вещества в излучение, которое сопутствует самопроизвольному распаду радиоактивных атомов. Наиболее мощным из процессов такого рода, известных на Земле, является преобразование урана в свинец, при котором приблизительно $\frac{1}{4000}$ часть всего вещества переходит в излучение. На Солнце соответствующее отношение может быть равно половине, или девяти десятым, или даже 99%; но, каково бы оно ни было, оно во всяком случае больше, чем 1:4000. Таким образом на Солнце в процессе генерации тепла и света должно происходить гораздо более энергичное преобразование вещества в излучение, чем в любых процессах, известных нам на Земле.

Перрэн и Эддингтон одновременно указали на то, что этот процесс может состоять в образовании сложных атомных ядер из электронов и протонов. Простейшим и наиболее благоприятным случаем этого рода, на котором особенно останавливался Эддингтон, является образование

ядер гелия. Состав атома гелия в точности соответствует четырем атомам водорода: он содержит четыре протона и четыре электрона. Если бы эти составные части можно было просто перерасположить без преобразования массы в излучение, то и масса атома гелия, была бы в точности равна массе четырех атомов водорода. Но в действительности, по Астону, масса атома гелия равна всего лишь 3,97 массы атома водорода. Разность между этим числом и 4,00 должна выражать собой ту часть вещества, которая превращается в излучение всякий раз, как атом гелия образуется из соединения четырех атомов водорода. В этом предполагаемом процессе (мы не знаем, так ли происходит в природе образование атомов гелия) потеря массы составляет приблизительно $\frac{1}{130}$ ее часть; таким образом она значительно больше, чем при явлениях радиоактивного распада; однако и такие процессы не могли бы обеспечить звездам достаточно продолжительную жизнь. Если Солнце, состоящее сплошь из водорода, превратилось бы в Солнце из чистого гелия, то оно получило бы при этом запас лучистой энергии на 100 миллиардов лет, считая по современной интенсивности его излучения; между тем соображения динамического порядка (равномерное распределение энергии движений и т. д.), так же как и некоторые данные, с которыми мы встретимся ниже, требуют значительно более долгой жизни звезд.

Современная физика может указать только на один процесс, который в состоянии обеспечить достаточно длинную жизнь излучающей звезде: это есть полное уничтожение ее вещества. Целый ряд данных приводит к тому, что атомы в очень массивных звездах в значительной своей части не отличаются существенно от атомов более легких звезд. Таким образом основная причина различия массы у тяжелой и у легкой звезды заключается не в качественном различии между атомами: все дело в их числе. Тяжелая звезда может превра-

таться в легкую в результате фактического исчезновения атомов; они должны уничтожаться, и их масса должна переходить в излучение.

В 1904 г. я впервые обратил внимание на те огромные количества энергии, которые могут освобождаться при уничтожении вещества, когда положительные и отрицательные электрические заряды обрушиваются друг на друга и, взаимно уничтожаясь, выбрасывают свою освобожденную энергию в пространство. В следующем 1905 г. теория относительности Эйнштейна открыла возможность определить то количество энергии, которое должно получиться при уничтожении данного количества вещества; она показала, что один грамм массы освобождает 9×10^{20} эрг, независимо ни от природы уничтожаемого вещества, ни от его состояния. Вслед за этим я вычислил продолжительность жизни звезд, которую обеспечивал им этот источник энергии; она выходила порядка миллиардов лет, и это казалось больше, чем требовалось по астрономическим данным, имевшимся тогда в нашем распоряжении. Но с тех пор в непрерывном росте астрономических материалов (в частности и изученных в этой главе) выступала все более отчетливо необходимость именно столь продолжительной жизни звезд; таким образом в настоящее время большинство астрономов склонны видеть именно в уничтожении вещества наиболее вероятный источник звездной энергии.

Еще иные соображения говорят за то, что уничтожение вещества есть основной процесс, происходящий в звездах. Если бы оно вовсе не имело места, масса звезды могла бы изменяться только на незначительную ее часть, так например на $1/4000$ при радиоактивном распаде или на $1/130$ при образовании атомов гелия из атомов водорода. Тогда звезда сохраняла бы свою массу практически неизменной на всю свою жизнь.

Отсюда вытекало бы, что жизнь звезд гораздо короче, чем мы нашли; действительно, основным и непре-

ложным фактом является ежедневная потеря Солнцем на излучение 360 миллиардов т его массы; если же эта масса не может значительно изменяться, то Солнце не могло и долго излучать.

Мы уже видели, что теперь во вселенной действительная яркость звезды зависит главным образом от ее массы. Если мы представим себе, что аналогичные условия имели место всегда, то звезды, сохраняя на всю свою жизнь одну и ту же массу, должны были сохранять и почти неизменную светимость, во всяком случае до истощения их способности к излучению. Иначе, т. е. при независимости светимости звезды от ее массы, мы должны были бы находить звезды с любой светимостью, но с массой, равной массе Солнца; однако таких звезд на самом деле не наблюдается. Поэтому, если отказаться от гипотезы уничтожения вещества, приходится изобретать некоторый контрольный механизм, который заставлял бы звезды, масса которых равна солнечной, излучать всегда примерно с той же силой, как и Солнце (по крайней мере до тех пор, пока полное истощение не остановит их излучения вовсе), и соответственно этому для звезд всяких других масс.

Повидимому против допущения таких контрольных механизмов общих возражений привести нельзя; действительно, Рассель и Эддингтон уже выдвигали их в своих теориях. Однако, изучая эти механизмы более детально, мы встретимся с различными затруднениями, о которых речь будет ниже (гл. V, стр. 385). Важнейшее из них состоит в том, что звезды с таким механизмом, насколько можно судить, будут находиться в высоко взрывчатом состоянии. Но лишь только мы откажемся от допущения подобного контролирующего механизма, как наблюдаемая зависимость светимости звезд от их массы заставит нас признать, что масса звезды уменьшается вместе с падением ее светимости, а это немедленно приводит нас обратно к уничтожению звездного вещества.

Можно привести здесь еще одно соображение в подтверждение нашей теории. Мы знаем, что «светимость на тонну вещества» имеет наибольшую величину у самых массивных звезд. Отсюда непосредственно следует, что и относительная потеря вещества звезды, т. е. потеря ее на каждую тонну вещества, будет наибольшей у самых тяжелых звезд. За то же самое время, как массивная звезда потеряет на тонну 50 кг, звезда с незначительной массой потеряет ее приблизительно в сто раз меньше; таким образом в силу одного лишь течения времени, происходит как бы выравнивание звездных масс. Этим без сомнения в значительной мере объясняется тот факт, что звезды, как они есть сейчас, не обнаруживают большого разнообразия в массах. Отсюда получаются также интересные выводы в отношении составляющих двойных систем: по мере постарения двойной системы массы обеих ее составляющих должны непрерывно приближаться к равенству; таким образом обе составляющие в старых двойных системах должны меньше различаться по массам, чем в системах молодых.

Это последнее заключение допускает проверку путем наблюдений. Айткэн находит, что отношение масс обеих составляющих двойных систем увеличивается приблизительно от 0,70 для молодых систем до 0,90 для тех старых систем, у которых эти составляющие в общем сравнимы с Солнцем. Таким образом это отношение изменяется в направлении, соответствующем теоретическим выводам; величина изменения требует интервала в миллиарды лет между обоими состояниями. Это достаточно хорошо сходится с нашими предыдущими оценками возраста Солнца; впрочем это определение имеет меньшую степень достоверности, как основанное на несколько более скудном материале.

Мы должны особо подчеркнуть революционный характер тех изменений, которые наша гипотеза вносит в физику. Оба краеугольных положения физики XIX века, [

именно «закон сохранения материи» и «закон сохранения энергии», теперь отменяются или, скорее, заменяются законом сохранения единой субстанции, которая может поочередно быть и массой и энергией. Вещество и энергия теряют характер неразрушимости и становятся взаимно заменимыми из твердого расчета по 9×10^{20} эрг на один грамм.

Но если смотреть с другой точки зрения, эта гипотеза только продвигает физику на один этап выше по тому пути, по которому она движется уже давно. Теплота, свет, электричество последовательно оказались формами энергии; гипотеза уничтожения материи предлагает только расширить этот список, включив в него самую массу как один из видов энергии.

Согласно этой гипотезе вся энергия, которой обуславливается возможность жизни на Земле, — весь свет и вся теплота, поддерживающие на ней тепло и возвращающие наши хлеба, и весь запас солнечного света в топливе, которое мы сжигаем, — все это, если проследить достаточно далеко, имеет своим последним источником уничтожение протонов и электронов на Солнце. Солнце разрушает свое вещество с тем, чтобы мы могли жить, или — скажем иначе — с теми последствиями, что мы оказываемся в состоянии жить. Действительно, атомы на Солнце и на звездах суть бутылки энергии; каждую из них можно разбить, разбрызгав ее энергию по всей вселенной в форме света и тепла. Большинство из тех атомов, с которыми и Солнце и звезды начали свое бытие, уже испытали эту судьбу; оставшимся несомненно предстоит испытать ее с течением веков. У научно-популярных писателей полвека тому назад имелся один излюбленный прием, именно красочное описание угля как «закупоренного солнечного света». Они предлагали читателю представить себе, что солнечный свет был закупорен, когда он падал на растительность первобытных лесов; с тех пор он хранится в запасе для наших топок уже в течение миллионов лет. С современной точки зрения мы дол-

жны понимать под углом скорее вторично-закупоренный солнечный свет или вторично-закупоренную энергию: ее первая укупорка произошла много миллиардов лет тому назад, когда не существовало еще ни Солнца, ни Земли, когда энергия была впервые загнана в протоны и в электроны. Оставим на минуту прозаическое представление о Солнце как о простом собрании атомов и вообразим, что оно есть как бы обширный склад бутылок с энергией, которые лежат там уже в течение миллиардов лет. Запасы этих бутылок на Солнце так колоссальны, и каждая из них содержит столь значительное количество энергии, что даже теперь, после излучения тепла и света в течение 7 или 8 миллиардов лет, Солнце обеспечено ими еще на миллиарды грядущих лет.

Два количественных сравнения могут еще лучше пояснить эти процессы. Мы видели, что современного запаса атомов на Солнце, при современном темпе их уничтожения, было бы достаточно на 15 миллиардов лет. Это означает, что каждый год на Солнце из 15 миллиардов атомов уничтожается только один. Это может показаться до смешного малым, когда речь идет о питании непрерывного и мощного потока солнечного излучения. Однако примем во внимание, что энергия, которая непрерывно излучается с поверхности Солнца с мощностью примерно 50 л. с. на $6\frac{1}{4}$ кв. см, зарождается внутри всего его обширного объема; энергия, которая течет с $6\frac{1}{4}$ кв. см поверхности, есть концентрация всей энергии, образуемой внутри конуса, основанием которого служит площадка в $6\frac{1}{4}$ кв. см, а высота равна радиусу Солнца, т. е. 700 000 км. Такой конус включает в себе 10^{33} атомов; поэтому сказать, что уничтожение атомов идет со скоростью одного атома на 15 миллиардов в год, равносильно тому, что в 1 секунду во всем Солнце их уничтожается 2 биллиона.

Но даже и при таком слабом темпе уничтожения атомов количество освобождающейся при этом энергии нас

поражает: оно совершенно иного порядка, чем получаемое в каком-либо ином процессе. Сжигание тонны лучшего угля в чистом кислороде освобождает приблизительно 5×10^{16} эргов энергии; но уничтожение тонны угля освобождает 9×10^{26} эргов, т. е. в 18 миллиардов раз больше. При обычном сжигании угля мы снимаем лишь сливки с той энергии, которая в нем заключена, так как 99 999 999 994% всей массы в энергию не преобразуется и остается веществом в виде дыма, углей и золы. Но уничтожение вещества не оставляет за собой ничего; это есть сжигание настолько полное, что ни дыма, ни угля, ни золы здесь не остается. Если бы мы могли на Земле не сжигать, а уничтожать уголь без остатка, то одного его фунта хватило бы на то, чтобы на две недели питать по всей Англии домашние очаги, поезда, пароходы, силовые установки и все остальное; кусочка угля величиной с горошину было бы достаточно, чтобы «Мавритания» могла совершить переход через Атлантический океан и обратно.

Данные чисто астрономического порядка привели нас к заключению, что атомы непрерывно уничтожаются в Солнце и в звездах. Здесь перед нами опять один из кусков загадочной картинки, превосходно подходящий к тем, которые мы пробовали сопоставить друг с другом в предыдущей главе.

Быть может имеется основание сделать попытку проникнуть еще глубже в физическую природу процесса уничтожения массы. Впрочем надо оговориться, что все дальнейшее носит спекулятивный характер в том смысле, что непосредственных опытных данных в этом направлении еще не имеется.

Мы видели (стр. 174), что по электродинамическим теориям, господствовавшим в прошлом столетии, требовалось, чтобы ядро и электрон в атоме водорода приближались все теснее друг к другу в силу одного лишь течения времени, вплоть до падения их друг на друга и слия-

ния. При этом отрицательный заряд электрона и положительный заряд ядра должны были взаимно нейтрализоваться; их энергия должна была оторваться от них во взблеске излучения подобно вспышке молнии, по которой мы узнаем, что произошли соединение и нейтрализация положительного и отрицательного зарядов на двух троповых облаках.

Более новая квантовая теория ставит предел сближению электрона и ядра, когда расстояние между ними доходит до $0,53 \times 10^{-8}$ см; и этим, как мы говорили, она охраняет бытие вселенной как жизнеспособной организации. Мы знаем также, что для электрона имеются и другие барьеры на расстояниях, в 4, 9, 16 и т. д. раз больших только что указанного; но запрещения переходить с одной такой орбиты на другую электрону не поставлено. На далеких от ядра расстояниях квантовая теория не говорит: «сюда и ни шагу дальше», а скорее: «сюда и не дальше, пока не пройдет достаточно долгое время». Но теперь по астрономическим данным оказывается возможным, что и запрещение электрону приближаться к ядру на расстояние меньшее, чем $0,53 \times 10^{-8}$ см, тоже может не быть абсолютным. Со стороны физических теорий здесь ничего неизвестно, хотя по современным понятиям, нашедшим свое выражение в волновой механике, существование подобного запрещения представляется невозможным ни для водородного, ни для более сложных атомов. Быть может, прождав очень долгое время на орбите, ближайшей к ядру, электрон получает разрешение — или оказывается вынужденным — двигаться глубже; он сливается с ядром, и взблеск излучения рождается в звезде. Этим достигается простейший механизм уничтожения электронов и протонов, требуемый повидимому астрономическими данными; однако надо твердо помнить, что все это лишь предположительные соображения о возможности такого механизма; мы вернемся к этой весьма сложной проблеме в V главе.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ.

ПРОИСХОЖДЕНИЕ КОСМИЧЕСКИХ ФОРМ.



Мы имеем уже представление об удивительной пустоте пространства: шесть пылинок, разбросанных по всей территории Уотерло-Стэшен, соответствуют степени заполнения пространства звездами даже в наиболее густо заселенных его областях. Но к этому представлению можно подойти и несколько иным путем. В шести пылинках имеется, скажем, тысяча билионов (10^{15}) молекул; наша модель пространства поражает своей пустотой потому, что это значительное число молекул оказывается случайно сбитым всего в шесть отдельных кусков. В действительном пространстве такими объединениями являются звезды (56), и в среднем каждая звезда содержит 10^{56} молекул — число настолько огромное, что совершенно бесполезно пытаться его вообразить. Пустота пространства происходит не от недостатка молекул; она возникает оттого, что эти молекулы (не касаясь тех, которые образуют разреженные газовые облака, стелющиеся в междузвездном пространстве) объединены в большие колонии, которые мы называем звездами, по 10^{56} молекул примерно на каждую звезду. Почему же молекулы в пространстве скучиваются таким образом, а молекулы в комнатах, где я пишу и вы читаете, — нет?

Следуя испытанному методу, мы попытаемся выяснить, как создались подобные объединения, разобрав сначала, что может их удерживать и не допускать до распада там, где они уже имеются. Земная атмосфера состоит приблизительно из 10^{41} молекул. Почему они остаются сда-

бленными в этой атмосфере, вместо того, чтобы рассеяться в пространстве? За ответом мы очевидно должны обратиться к силе земного притяжения. Пуля, пущенная с земной поверхности со скоростью 11,2 км в секунду или больше, уйдет во внешнее пространство, так как при такой скорости движения пули притягательное действие Земли недостаточно велико, чтобы ее удерживать; но пуля, у которой скорость меньше 11,2 км в секунду, не может расстаться с Землей; такая скорость слишком мала, чтобы освободить ее от притяжения Земли. Подобно этому молекулы-пули, образующие земную атмосферу и летящие обычно со скоростями меньшими, чем полкилометра в секунду, не имеют никаких шансов уйти прочь от Земли; ее притяжение непрерывно оттягивает их обратно, так что Земля сохраняет свой покров.

Правда, через долгие промежутки времени какая-нибудь молекула может испытать подряд несколько необычайно удачных столкновений с другими и этим путем достичь скорости в 11,2 км в секунду или больше; если она подходит с такой скоростью к внешним границам атмосферы, то она сможет оставить Землю окончательно и присоединиться к межзвездным толпам блуждающих молекул. В силу этого Земля постепенно теряет свою атмосферу; однако вычисления показывают, что потеря, даже и за миллиарды лет, совершенно ничтожна, так что мы можем считать земную атмосферу постоянной.

То же самое происходит и на Солнце. Здесь солнечная теплота дробит молекулы атмосферы на составляющие их атомы, и эти атомы движутся со средней скоростью порядка 3,2 км в секунду. Но атом-пуля должен был бы лететь со скоростью примерно 600 км в сек., чтобы совершенно покинуть Солнце; вот почему все эти атомы остаются при Солнце, образуя его атмосферу.

Если бы соединить все молекулы воздуха в обыкновенной комнате в один комок на ее середине, то образовавшийся шар воздуха, конечно, проявлял бы притягатель-

ное действие на его крайние внешние молекулы, подобно действию Земли и Солнца на молекулы их атмосфер. Но так как масса этого шара очень мала, то и притягательное его действие было бы тоже очень незначительно: оно оказалось бы действительно настолько слабым, что скорость порядка одного метра в столетие была бы совершенно достаточной, чтобы освободить от его влияния внешние молекулы. Но так как молекулы воздуха при обычных условиях движутся со скоростями около 450 м в секунду, то этот шар немедленно рассеялся бы по всей комнате. С другой стороны, если бы эта комната была достаточно большой, чтобы вместить Солнце, то все молекулы могли бы удержаться в виде шара посреди ее, подобно тому как они удерживаются на Солнце; чтобы освободиться, крайним внешним молекулам нужна была бы скорость порядка 600 км в секунду, так что их действительная скорость в 450 м в секунду или около этого не могла бы им в данном отношении помочь.

АТМОСФЕРЫ ПЛАНЕТ.

Вопрос: уйти или не уйти, решается, вообще говоря, в зависимости от исхода битвы между молекулярными скоростями внешних молекул и силой притягательного действия, которое производит на них остальная масса. В солнечной системе имеется много примеров этому. Луна обладает притягательным действием на молекулы атмосферы в шесть раз меньшим, чем Земля, и вследствие этого, какова бы ни была та атмосфера, которую могла когда-либо иметь Луна, в настоящее время она исчезла совершенно. Притяжение Меркурия равно двум пятым притяжения Земли, но в виду близости к Солнцу, сторона этой планеты, обращенная к Солнцу, очень горяча; вследствие этого атмосфера исчезла и с Меркурия. Притяжение Марса на его молекулы равно только одной пятой притяжения Земли, но его поверхность более холодна.

Вычисление показывает, что водяные пары и более тяжелые молекулы должны были остаться в атмосфере Марса, между тем как более легкие молекулы гелия и водорода должны были исчезнуть. Это, по всем данным, и соответствует тому, что наблюдается на Марсе. Самый большой спутник Сатурна (Титан) и два самых крупных спутника Юпитера развивают почти такое же притяжение, как Луна; но так как их поверхность несравненно холоднее лунной, то они должны были удержать свои атмосферы; по утверждениям некоторых наблюдателей признаки существования атмосфер у этих трех спутников действительно имеются.

У четырех больших планет (Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун) притяжение на молекулы еще сильнее, чем у Земли, так что они с легкостью сохранили свои атмосферы; точно так же и у Венеры, притягательное действие которой почти такое же, как у Земли, осталась атмосфера.

Эти соображения служат совершенно достаточным пояснением того, что звезды по необходимости должны остаться в форме нераспадающихся молекулярных объединений, если только подобные объединения уже образовались. Но объяснить, как и почему произошло первичное образование этих молекулярных агрегатов, несравненно труднее. В чем заключается например причина того, что в звезде должно быть приблизительно 10^{58} молекул, скорее чем 10^{54} или 10^{58} ?

ГРАВИТАЦИОННАЯ НЕУСТОЙЧИВОСТЬ.

Естественно поставить вопрос: не могут ли те самые силы, которые теперь держат звезду как единое целое, быть также причиной и первичного ее объединения в это целое? Это приводит нас к необходимости изучить более подробно процесс образования космических форм под действием сил притяжения,

Через пять лет после того, как Ньютон опубликовал свой закон тяготения, Бентли, стоявший тогда во главе Тринити-колледжа в Кембридже, в письме к Ньютону возбуждал вопрос о том, не может ли вновь открытая сила тяготения быть причиной образования звезд. Ньютон, письмом от 10 декабря 1692 г., отвечал ему следующее:

«Мне кажется, что если бы материя нашего Солнца и планет и вся материя во вселенной была равномерно рассеяна в небесных глубинах, и если бы каждая частица имела врожденное тяготение ко всем остальным, и если бы наконец пространство, в котором была бы рассеяна эта материя, было конечным, то вся материя во внешних частях этого пространства силой тяготения стала бы устремляться к материи в его внутренних частях и следовательно должна была бы упасть в середину всего этого пространства и здесь образовать одну большую сферическую массу. Но если бы материя была равномерно распределена в бесконечном пространстве, она никогда не могла бы объединиться в одну массу, но некоторая часть ее образовала бы одну такую массу, иная часть — другую, так что от этого произошло бы бесконечное число больших масс, разбросанных на больших расстояниях друг от друга во всем этом бесконечном пространстве. Именно так могли произойти и Солнце и неподвижные звезды, если предположить, что материя была светящейся по своей природе».

Точный математический анализ, к которому я приступил впервые в 1901 г., не только подтвердил предположения Ньютона в их общих чертах, но дал также способ вычисления размеров объединений материи, возникающих под действием сил притяжения.

Образование сгущений. Вы стоите посреди комнаты и хлопаете в ладоши. Говоря простыми словами, вы производите шум; но физик, с его профессиональной установкой, сказал бы, что вы порождаете звуковые волны. Ваши руки, приближаясь друг к другу, изгоняют находящиеся между ними молекулы воздуха; эти последние мчатся наружу, сталкиваясь с частицами следующих слоев; эти частицы в свою очередь увлекаются дальше и сталкиваются с еще более удаленными слоями; возмущение, произведенное вашими руками, продолжает свое движение под видом волны. Хотя скорость каждой отдельной мо-

лекулы в среднем равна около 450 м в секунду, но зигзагообразный характер ее движения уменьшает скорость возмущения, как мы говорили раньше, до 338 м в секунду, т. е. до обычной скорости звука. Там, куда доходит возмущение, число молекул становится ненормально большим, так как мчащиеся молекулы присоединяются к молекулам, имеющимся уже тут в нормальном количестве. Этим вызывается, конечно, избыток давления. Именно это избыточное давление, действуя на мои барабанные перепонки, передается как ощущение моему мозгу, так что я слышу шум от вашего хлопанья в ладоши.

Этот избыток давления, разумеется, не может сохраниться надолго, и обуславливающий его избыток молекул должен быстро рассеяться; волна в этой точке прошла. Все же имеется некоторая сила, которая борется тут против ее рассеяния. Каждая молекула оказывает притягательное действие на все соседние молекулы, так что там, где оказывается избыток молекул, имеется и избыток сил притяжения. В обыкновенной звуковой волне этот избыток совершенно ничтожен; но, каков бы он ни был, им создается крошечная сила, которая сдерживает молекулы; она притягивает их обратно и не дает им рассеяться столь же свободно, как если бы ее не существовало вовсе. Но когда такое же явление происходит в астрономическом масштабе, действие соответствующих сил может получить совершенно исключительное значение.

Условимся говорить, что газ, число молекул которого в данной области выше, чем среднее число их в окружающем пространстве, образует здесь сгущение. Можно доказать, что если размеры сгущения достаточно велики, то и избыток гравитационных сил может быть достаточен для того, чтобы совершенно прекратить рассеяние молекул. В этом случае сгущение может непрерывно расти, притягивая к себе молекулы из внешнего пространства, если их молекулярная скорость оказы-

вается недостаточной, чтобы они могли снова вырваться из него.

Будет ли иметь место такой рост сгущения или нет, зависит, конечно, от скорости молекулярных движений в газе, равно как и от размеров сгущения. Но оно вовсе не будет зависеть от того, до какой степени дошел уже процесс сгущения. Удваивая число избыточных молекул, мы удваиваем и степень сгущения; этим самым мы удваиваем гравитационные силы, стремящиеся усилить сгущение; но вместе с тем мы удваиваем и избыток давления, которое стремится его рассеять. Мы удваиваем таким образом грузы на обеих чашах весов, но от этого стрелка не перестает двигаться в прежнюю сторону. Поэтому, если только условия для роста сгущения однажды оказались благоприятными, то оно будет продолжать расти автоматически, пока не останется больше молекул, которые оно могло бы поглотить.

Чем значительнее пространственные размеры сгущения, тем больше имеется благоприятных условий для его дальнейшего развития. При прочих равных условиях сгущение диаметром в два миллиона километров будет действовать с двойной силой притяжения по сравнению со сгущением в один миллион километров в диаметре, но избыточные давления останутся в обоих случаях одинаковыми. Поэтому, чем больше сгущение, тем более вероятен его дальнейший рост; переходя мысленно все к большим и большим сгущениям, мы должны прийти и до сгущения таких размеров, при которых увеличение его становится неизбежным. Закон природы сводится здесь к ничем не ограниченному соревнованию. Ничто так не окрыляет, как успех, и мы видим, что сгущения, у которых есть с чего начать, имеют возможность развиваться и далее, в то время как малые сгущения рассеиваются совершенно.

Допустим теперь, что в пространстве имеется огромная масса газа, который с одинаковой плотностью рас-

пространяется на биллионы километров по всем направлениям.

Всякое возмущение в этом газе, нарушающее его равномерную плотность, может послужить началом образования сгущений любой мыслимой величины.

Это может показаться сначала непонятным; можно подумать, что возмущение, затрагивающее только малую область газа, вызывает в нем сгущение незначительных размеров; но при таком рассуждении упускается из виду, что гравитационное действие даже самого малого тела проявляется во всей вселенной. Луна вызывает приливы на далекой Земле, и приливы, хотя и несравненно меньшей силы, на самых отдаленных звездах. Всякий раз, как ребенок выбрасывает игрушку из своей коляски, он вызывает возмущение в движении всех звезд во вселенной. Когда речь идет о действиях тяготения, никакое возмущение не может быть ограничено областью меньшей, чем все пространство вообще. Чем более мощным будет возмущение, тем сильнее будет исходная степень сгущения, которое от этого произойдет; однако даже и самое слабое возмущение может послужить толчком к образованию сгущений, хотя степень их может оказаться чрезвычайно малою. Но мы уже знаем, что судьба сгущения определяется не его степенью, но его размерами. Безразлично, насколько слаба была исходная степень сгущения; большие сгущения продолжают расти, малые исчезают; с течением времени не остается ничего кроме лишь одних крупных сгущений.

Математический анализ, про который мы уже упоминали, показывает, что существует определенное минимальное значение массы, такое, что все сгущения с меньшей массой просто рассеиваются в пространстве. С приближением, совершенно достаточным для нашей цели, ее можно определить так: если изолировать в пространстве одну десятую часть этой массы, уничтожив всю

остальную, то ее молекулы оказались бы едва-едва не в состоянии унести в пространство с ее поверхности. [⊙]

Резюмируя, мы можем сказать, что равномерно распределения в пространстве масса газа должна быть «неустойчивой», так как любое возмущение, и притом сколь угодно слабое, является причиной полного изменения ее исходной конфигурации; эта масса находится следовательно в таком же динамическом состоянии, как палка, которая упирается только на нижний конец, или как мыльный пузырь, вот-вот готовый лопнуть.

Полученные нами общие теоретические результаты могут быть применены теперь к любой массе газа. Начнем с приложения их к гипотетической ньютоновой материи, «равномерно распределенной в бесконечном пространстве». Мы обратимся к той стадии развития вселенной, когда материя всех звезд и туманностей могла быть рассеяна с одинаковой плотностью в пространстве; короче говоря, мы начинаем с того «первобытного хаоса», с которого начинается большинство научных космогоний. Хаббл вычислил, что если бы вся материя, находящаяся в доступных нашим телескопам частях пространства, была пе-

[⊙] Это достаточно верно, но не совершенно точно. Строгий математический анализ приводит к выводу, что масса минимальной конденсации M определяется равенством:

$$M = \left(\frac{1}{2} \pi \chi \right)^{3/2} \frac{C^3}{\gamma^{3/2} \rho^{1/2}},$$

где C , γ , ρ и χ суть молекулярная скорость, гравитационная постоянная, начальная плотность и отношение теплоемкостей при постоянном давлении и постоянном объеме; с другой стороны масса M' , с которой молекулы, движущиеся со скоростью C , едва-едва не в состоянии унести, получается равной:

$$M' = \frac{3}{4\pi} \cdot \frac{C^3}{\gamma^{3/2} \rho^{1/2}}.$$

При $\chi = 5/3$ (одноатомные газы) минимальная масса сгущения M в 9,7 раза больше массы M' , которая как раз в состоянии удержать свои молекулы.

перераспределена в них равномерно, то плотность полученного таким образом газа была бы равна только $1,5 \times 10^{-31}$ (по отношению к воде). Но эта оценка почти наверное слишком низка даже и для современного состояния вселенной. Пытаясь же восстановить первобытный газ, мы должны несколько усилить эту плотность, учтя количество молекул и атомов, уже растворившихся в излучение за протекший период времени. В общем надо думать, что 10^{-30} будет та плотность, которую можно не без основания принять для гипотетичной первобытной туманности. Эта плотность невообразимо мала. В обыкновенном воздухе, при плотности в $1/800$ (по отношению к воде), среднее расстояние между смежными молекулами около $1/320000$ мм; в первобытном газе, который мы теперь изучаем, соответствующее расстояние равно от двух до трех метров. Этот контраст снова возвращает нас к теме о чрезвычайной пустоте пространства.

Чему же равна минимальная масса сгущения, которое могло сохранить свое бытие в этом первобытном газе?

Вычисление обнаруживает, что если разредить до столь незначительной плотности обыкновенный воздух, то никакое сгущение не могло бы образоваться в нем и продолжать расти, если только его масса не была равна по крайней мере $62\frac{1}{2}$ миллионам солнечных масс; всякая меньшая масса этого газа должна оказывать столь слабое действие на ее внешние молекулы, что при их нормальной молекулярной скорости в 450 м в секунду произошло бы весьма быстрое рассеяние всего сгущения.

Мы можем произвести подобные же вычисления в предположении других значений плотности первобытного газа и других молекулярных скоростей. В следующей таблице даны массы тех сгущений, которые образовались бы из первобытного хаотического газа при плотностях, показанных в первом столбце таблицы, и при различных молекулярных скоростях, показанных в заголовках следующих ее столбцов. Все числа самой таблицы дают зна-

чения масс сгущений, причем за единицу принимается масса Солнца:

Плотность по отношению к воде	Молекулярная скорость 450 м в секунду	Молекулярная скорость 900 м в секунду	Молекулярная скорость 1803 м в секунду	Молекулярная скорость 2700 м в секунду
10^{-29}	25 млн.	200 млн.	1,6 млрд.	5 млрд.
10^{-30}	62,5 "	500 "	4 "	13 "
$1,5 \times 10^{-31}$	160 "	1300 "	10 "	30 "

Массы всех известных нам звезд сравнимы, как мы отмечали, с массой Солнца. Поэтому, если бы звезды — как предполагал Ньютон — действительно начали свое бытие как сгущения первобытного газа, то и все числа нашей таблицы должны были бы получиться одного порядка с принятой единицей, т. е. массой Солнца. Отсюда мы в праве заключить, что гипотеза Ньютона по отношению к данной проблеме неприемлема: все вычисленные массы получились в миллионы раз больше массы Солнца. Если когда-либо существовал первобытный газ, каким мы его здесь себе представляем, то, сгущаясь, он образовал бы не звезды, но неизмеримо более крупные сгущения, в каждом из которых заключалось бы массы на миллионы звезд.

ПРОИСХОЖДЕНИЕ БОЛЬШИХ ТУМАННОСТЕЙ.

При таком результате весьма знаменательно, что нам известны в пространстве тела, массы которых равны только что найденным нами; это — большие внегалактические туманности. Для двух таких туманностей, именно для Большой Туманности в Андромеде, М. 31 (табл. IV),

и туманности N. G. C. 4594 в Деве (табл. XV), имеются уже достаточно точные определения масс. По Хабблю, они равны:

Туманность	M.	31	масса = 3,5	миллиарда	солнечных	масс.
»	N.G.C. 4594	.	»	= 2,0	»	»

Оба эти определения можно тоже считать слишком низкими; не порядок величины обеих этих масс указывает на то, что сгущения, образовавшиеся в первоначальной стадии из разреженной туманности, были большие внегалактические туманности, а отнюдь не отдельные звезды. Конечно, приписывать именно такое происхождение большим туманностям мы можем в лучшем случае лишь весьма предположительно, хотя бы уже потому, что мы никогда не узнаем, существовала ли первобытная гипотетическая туманность или нет; тем не менее это кажется нам самой разумной гипотезой для объяснения того факта, что большие туманности теперь существуют. Все эти туманности настолько похожи друг на друга в своих главных чертах, что происхождение их под влиянием одной общей причины представляется достаточно вероятным; и тот физический процесс, который мы здесь изучили, дает этой причине рациональное обоснование, не касаясь лишь вопроса о существовании первичной равномерно-плотной туманности, которое мы должны были предположить.

Но, разумеется, полного сходства между всеми большими туманностями не существует, и наша ближайшая задача — выяснить причины их различий.

Если бы сгущения в первичной газообразной туманности образовались и продолжали развиваться совершенно правильным образом, то в результате получился бы строй правильно расположенных в пространстве и совершенно подобных друг другу газообразных масс. Но природа редко действует с такой монотонностью, и нам не приходится удивляться, что расстояния между туманностями оказываются неодинаковыми и что сами они имеют

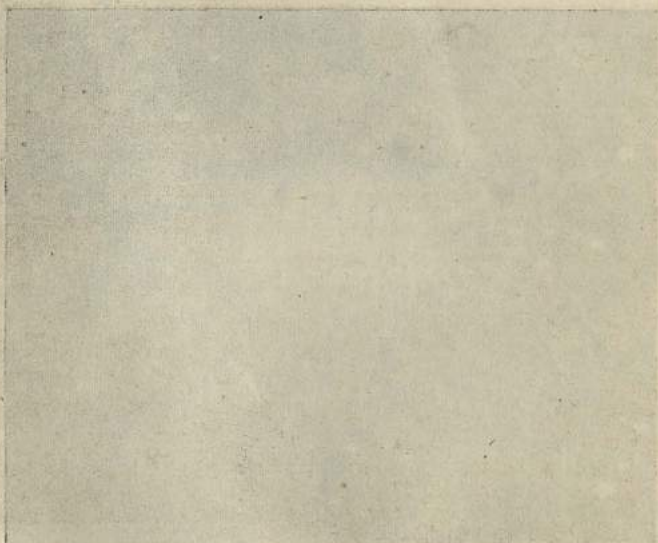


Туманность N.G.C. 4594 в Деве.



Обсерватория Моунт-Вильсон.

Туманность N.G.C. 7217.



разные массы и неодинаковую форму. Когда первобытный газ сжимался в первичные туманности, в нем должны были возникнуть течения, и, разумеется, эти течения едва ли могли быть совершенно симметричны. Если бы движения в каждой отдельной массе при ее сгущении были везде направлены прямо к центру, то тогда в конце концов получилась бы сферическая туманность, лишенная всякого движения; но любая менее симметричная система потоков должна была сообщить вращение каждой из сжимающихся масс. Вначале это вращение должно было быть несомненно крайне медленным; однако из хорошо известного закона «сохранения моментов вращения»^② следует, что при сжатии вращающегося тела скорость его вращения должна возрастать. Таким образом к концу процесса сгущения должен был образоваться ряд туманностей, вращающихся с различной скоростью.

Вращение туманностей. Но это и соответствует тому, что обнаруживается в наблюдениях; по всем имеющимся данным, туманности вращаются и притом с неодинаковыми скоростями. Разные части вращающейся массы обладают очевидно разными скоростями движения в пространстве. Так например Солнце вращается вокруг своей оси в таком направлении, что обращенная к нам его сторона движется всегда с востока на запад; в силу этого восточный край Солнца всегда приближается к Земле, в то время как западный край от нее удаляется. Направляя спектроскоп последовательно на различные части солнечной поверхности, мы сразу обнаруживаем различие их скоростей; и они не только подтверждают факт вращения

② Момент вращения частицы с массой m , движущейся по кругу радиуса r с угловой скоростью ω , равен $mr^2\omega$ для твердого тела, у которого момент инерции относительно оси вращения есть J , момент вращения равен $J\omega$; закон, который имеется здесь в виду, гласит, что при движении системы под действием одних лишь внутренних сил (равно как и в некоторых более общих случаях) сумма моментов вращений всех материальных точек и тел остается постоянной.

Прим. перев.

Солнца, но и позволяют определить период этого вращения. Туманности можно исследовать совершенно таким же способом; при этом обнаруживается, что у многих из них вращение происходит как совершенно правильное движение твердого тела, например вращающегося волчка. На наш земной масштаб скорости этих вращений кажутся необычайно малыми; так для полного оборота Большой Туманности (М. 31) в Андромеде требуется около 19 миллионов лет; но эта кажущаяся медленность вращения есть неизбежное следствие огромных размеров туманности. Для того чтобы обойти один полный круг даже в 19 миллионов лет, внешние части туманности должны вращаться со скоростями в сотни км в секунду.

Незначительное число туманностей имеет явно неправильную форму, но у большинства из них формы совершенно правильные, и здесь чрезвычайно знаменательно, что эти формы в точности соответствуют тем, которые математический анализ назначает для вращающихся масс газа. Но у нас имеется еще более веский довод в пользу того, что туманности являются действительно вращающимися газообразными массами. Основываясь на чисто наблюдательном материале, как например на поверхностной яркости и на других характерных признаках, Хэббл нашел, что почти все эти туманности могут составить одну линейную последовательность; их можно расположить в строгом порядке одну за другой, подобно бусам на нитке. При этом обнаруживается, что этот порядок почти в точности соответствует той последовательности форм, которая была еще раньше получена чисто теоретическим путем для конфигураций газообразных масс, вращающихся с постепенно увеличивающейся скоростью.

Обратимся теперь к рассмотрению этой последовательности теоретических конфигураций в их естественном порядке.

Масса газа, совершенно лишенная вращения, приняла бы, разумеется, сферическую форму под действием ее

собственных сил притяжения. Известен целый ряд сферических туманностей; типичный пример показан на табл. XVI, рис. 1.

При медленном вращении эта масса принимает слегка сжатую форму апельсина, как у Земли или у Юпитера. Таких туманностей известно множество; пример показан на табл. XVI, рис. 2.

При увеличении скорости вращения сжатие усиливается; но теоретические вычисления показывают, что апельсинообразная форма сохраняется ненадолго. У экватора появляется заметное вздутие, и наконец, при достаточно быстром вращении, у этого вздутия обнаруживается острый край; в это время вращающаяся масса имеет форму двояко-выпуклой чечевицы. Эти теоретические предсказания обильно подтверждаются наблюдениями; нам известно большое число таких чечевицеобразных туманностей.

Пример их дан на табл. XVI, рис. 3.

Следующий шаг ведет нас к большим неожиданностям. Дальнейшее увеличение скорости вращения не вызывает, как можно было бы думать, дальнейшего сжатия. До этой стадии при возрастании скорости вращения вздутие у экватора заострялось все более и более; но теперь в этом направлении ему уже некуда идти. Теория показывает, что и сжатие тоже дошло до крайнего возможного предела и что следующая стадия должна состоять уже в извержении материи с острого края экватора и распространении ее по всей экваториальной плоскости туманности. Здесь наблюдения вновь подтверждают теорию: на табл. XVI, рис. 4 и 5, показаны типичные туманности этого класса; первая из них есть та туманность в Деве, о которой нам уже приходилось говорить (см. табл. XV).

Сравнительно тонкий слой газа, который стелется теперь по всей экваториальной плоскости, соответствует (по крайней мере в одном отношении) ньютоновой материи, «равномерно распределенной в бесконечном простран-

стве». Возмущения могут возникать в нем в силу разнообразных причин, и всякое возмущение, каким бы оно ни было слабым, должно привести к появлению ряда сгущений. Как и раньше, те сгущения, размеры которых меньше некоторого предела, исчезают сами собой, но у сгущений, превышающих этот предел, степень сгущения будет непрерывно возрастать, пока ими не будет поглощен весь газ в экваториальной плоскости. И тут, как и для гипотетического «первобытного хаоса», мы можем вычислить тот наименьший исходный размер сгущений, который обеспечивает им возможность существования; и снова здесь получается чрезвычайно важный результат.

Выше были приведены значения масс двух крупных туманностей по данным Хэббла. Так как расстояния, а следовательно и размеры обеих этих туманностей известны, то легко вычислить и среднюю плотность газа по всему объему этих туманностей. Для М. 31 (туманность в Андромеде) она оказывается около 5×10^{-22} (по отношению к воде); для N. G. C. 4594 (туманность в Деве) она равна 2×10^{-21} .

Мы получаем отсюда некоторое представление о плотности материи во внешних частях туманностей; хотя они приблизительно в миллиард раз больше плотности первобытной туманности во всем пространстве (10^{-30} , как выше дано), однако они все еще неистощимо малы. Одна единственная молекула приходится здесь примерно на 16 куб. см. Одним выдохом из своих легких муха могла бы наполнить целый собор воздухом такой плотности.

Переходя к вычислению тех минимальных масс сгущений, при которых возможны их зарождение и дальнейший рост в газе столь малой плотности, мы получаем результаты, приведенные в таблице на стр. 253. Молекулярные скорости взяты довольно слабые, имея в виду охлаждение, которое должно наступить при рассеянии газа по экваториальной плоскости туманности.



Рис. 1
N.G.C. 3379.



Рис. 2
N.G.C. 4621.



Рис. 3
N.G.C. 3115.



Рис. 4
N.G.C. 4594 в Деве
(см. табл. XV).



Рис. 5
N.G.C. 4563
В Волосах Вероники.

Обсерватория Моунт-Вильсон.

Последовательность конфигураций туманностей.

Плотность по отношению к воде	Молекулярная скорость 90 м в секунду	Молекулярная скорость 270 м в секунду	Молекулярная скорость 450 м в секунду
10^{-21}	1.7	36	220
10^{-22}	5	130	625
10^{-23}	17	360	2 200

Массы сгущений и в этой таблице даны по отношению к массе Солнца, принимаемой за единицу. И важность результатов обнаруживается в том, что почти во всех числах таблицы мы имеем перед собой массы, сравнимые с массой Солнца.

Итак, наконец-то дошли мы и до звездных масс: массы конденсаций, которые должны образоваться во внешних областях больших туманностей, по своей величине сравнимы с массами звезд.

ПРОИСХОЖДЕНИЕ ЗВЕЗД.

Действительно, почти невозможно сомневаться в том, что процесс, который мы сейчас изучали, есть процесс рождения звезд. Даже беглого взгляда на снимки туманностей достаточно, чтобы убедиться в том, что материя, изверженная в экваториальной плоскости туманностей, не лежит в ней слоем равномерной плотности; здесь видно, что она образует сгустки, узлы и сгущения. Все они достаточно хорошо обнаруживаются на снимках многих туманностей, которые мы до сих пор изучали; но они видны еще яснее в тех туманностях, на которые мы смотрим в полный раствор, как например на обеих замечательных туманностях, изображенных на табл. XVII и XVIII.

Размеры этих сгустков всегда слишком велики для того, чтобы мы могли признать их за отдельные звезды; скорее всего они представляют собой группы звезд. В самые сильные телескопы они распадаются на большое число светящихся точек, подобно тому как это видно на табл. XI. Мы уже указали на те причины, которые побуждают нас видеть в этих светящихся точках действительные звезды; главная из них та, что некоторые из них обнаруживают характерные колебания яркости, свойственные Цефеидам. Еще не вполне ясно, образуются ли звезды непосредственно, как сгущения в экваториальной плоскости туманности, или же сперва формируются те более крупные сгустки, которые мы наблюдаем на снимках туманностей, а из них уже в последующей стадии образуются меньшие сгущения, именно звезды. В общем можно предполагать, что здесь идут два процесса: первоначально распад туманности на крупные сгущения, затем распад этих крупных сгущений на звезды.

Эти последовательные процессы могут сопровождаться постепенным охлаждением материи; конечно, не исключена возможность, что в действительности происходит даже больше чем два подобных процесса. Но нам нет необходимости искать здесь окончательного решения этого вопроса; он стоит в стороне от главных задач нашего исследования.

Имея собрание снимков туманностей, мы можем проследить их эволюцию от самых ранних стадий (табл. XVI), через первое появление зернистых сгустков (табл. XVII) и первое отчетливое появление звезд (табл. XVIII), вплоть до позднейших стадий (табл. XIX и XX), где туманность уже мало чем отличается от звездного облака. Хаббл нашел даже возможным продолжить этот ряд еще дальше, установив непрерывный переход от туманностей последнего из указанных типов до настоящих звездных облаков, какими являются Большое и Малое Магеллановы Облака (табл. XXI).



Обсерватория Моунт-Вильсон.

Туманность „Водоворот“ в Гончих псах (М. 51)





Обсерватория Моунт-Вильсон.

Туманность М. 81 в Большой Медведице.

Таким образом звезды появились на свет в результате почти того же процесса, которым мы предположительно объяснили появление в еще более отдаленном прошлом их родителей — больших туманностей, именно под действием совокупности условий, обычно называемой «гравитационной неустойчивостью». Она является причиной того, что любая масса хаотического газа распадается на отдельные сгущения; при этом, чем разреженнее первичный газ, тем значительнее оказывается масса получающихся из него образований. Плотность исходной туманности в наших построениях настолько мала, что образовавшиеся в ней сгущения обладают массой в миллиарды солнечных масс. У этих сгущений при сжатии плотность увеличивается настолько, что когда под влиянием вращения им пришлось выбрасывать газообразную материю, эта последняя сгущалась уже в меньшие образования, с массами порядка действительных звездных масс; эти образования мы и принимаем за звезды.

Наши сведения о первом процессе гораздо менее достоверны, чем о втором. Единственное основание считать, что первый процесс вообще когда-либо происходил, заключается в том, что внегалактические туманности теперь существуют. С другой стороны мы не только знаем, что звезды существуют; мы знаем также, что существуют газообразные массы, из которых, как показывает теория, должны были родиться звезды. Это разреженные экваториальные кольца у больших туманностей. В наши телескопы мы наблюдаем и эти кольца и самые звезды, и мы почти что можем изучать действительный процесс рождения звезд.

Галактическая звездная система. Если в предыдущем дано правильное объяснение процесса рождения звезд, то и наше Солнце и другие звезды должны были быть рождены во вращающихся туманностях. Такое заключение находит прочную опору в наблюдениях. Со времени обоих Гершелей в науке отмечалось неоднократно, что галакти-

ческая система по своей общей форме подобна внегалактическим туманностям; при этом галактическая плоскость соответствует, разумеется, экваториальной плоскости исходной туманности. Основываясь на чисто наблюдательных результатах, современная астрономическая мысль все более и более склоняется к взгляду на всю галактическую систему либо как на вращающуюся туманность, либо как на остатки таковой. Возможно даже, что в этой туманности сохранилась центральная область, до сих пор не сгустившаяся еще в звезды. В направлении на созвездия Скорпиона и Змееносца находятся темные облака; они либо скрывают от нас центр системы, либо сами, как можно предполагать, лежат в ее центре.

В 1904 г. Каптейн нашел, что направления движений звезд в ближайших окрестностях Солнца носят не чисто случайный характер. Звезды, как оказалось, движутся туда и обратно в обе стороны по некоторому определенному направлению в плоскости галактики предпочтительнее, чем во всех иных, — это «звездные потоки», как их называл Каптейн.

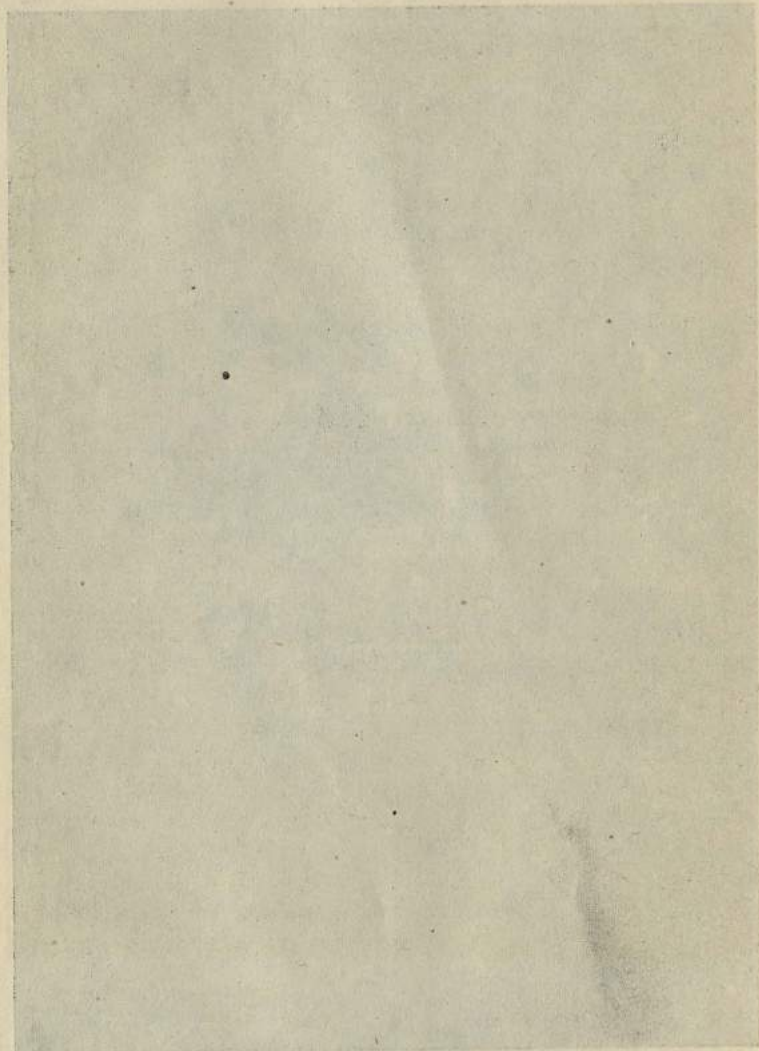
Такая особенность звездных движений должна пролить некоторый свет на их происхождение.

Под влиянием притягательного действия всех звезд галактической системы каждая отдельная звезда движется по очень сложной орбите. Определить эту орбиту во всех ее деталях невозможно. Вычислить орбиту, которую описывает вокруг Солнца планета, нам легко потому, что здесь участвуют только два тела — планета и Солнце. Но когда речь идет даже о движении всего лишь трех тел, то, как оказывается, невозможно вычислить те орбиты, которые каждое из них описывает под совместным притяжением обоих остальных: это знаменитая «задача трех тел», которая так и не могла быть решена. Если, как в галактической системе, в движении участвуют миллиарды звезд, то, очевидно, бесполезно пытаться вычислить орбиту каждой звезды: это было бы столь же безнадежно,



Обсерватория Моунт-Вильсон.

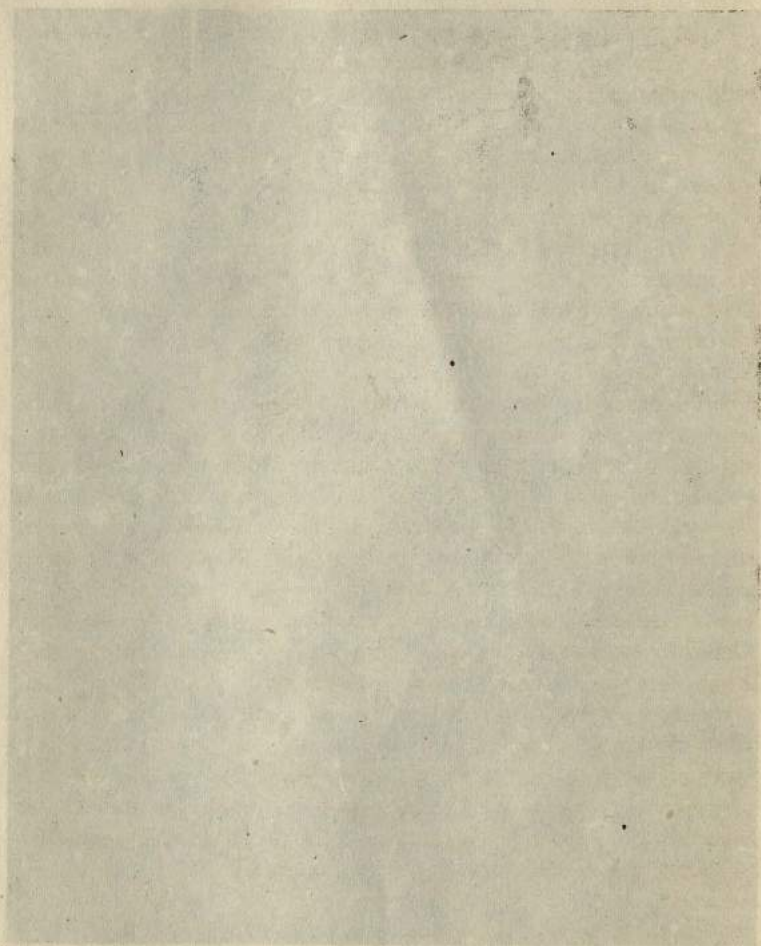
Туманность М. 101 в Большой Медведице.





Обсерватория Моунт. Вильсон

Туманность М. 33 в Треугольнике.



Copyright 1911 by the

University of Chicago Press

как пытаться определить путь каждой отдельной молекулы газа.

Однако мы можем применить к изучению движений звезд тот же статистический метод, который раскрывает нам важнейшие свойства газов. Число звезд здесь так велико, что мы вовсе не должны считаться с каждой из них в отдельности. Все они вместе составляют для нас просто одну толпу. Учитывать каждую из них индивидуально — это было бы вроде того, как если бы правление железной дороги решило составить расписание праздничного пригородного движения между Лондоном и Брайтоном на побережье, исходя из материальных возможностей, привычек и жизненного уклада каждого жителя Лондона в отдельности.

Не касаясь индивидуальных особенностей, мы можем показать, что каждая звезда должна описать орбиту, которая по обходе значительной части галактики приводит ее обратно в окрестности исходной точки; каждый такой обход, как показывает вычисление, должен длиться сотни миллионов лет. Но если даже и так, то большая часть звезд уже совершила по нескольку таких полных оборотов с тех пор, как существует Земля; если же мы правильно определяем возраст звезд в биллионы лет, то каждая из них должна была обойти галактику несколько тысяч раз. В виду этого мы в праве полагать, что галактика приняла теперь уже определенную и в общем неизменную форму; распределение звезд в различных ее областях могло уже в известной мере установиться, и звезды должны были притти к состоянию, близкому к тому, какое соответствует установившемуся типу движений.

Статистические методы обнаруживают, что звездная система, прожившая достаточно долго для того, чтобы дойти до установившегося состояния, может существовать только в ограниченном числе форм. Если система как целое вовсе не имеет вращения, то возможна лишь одна

форма: звезды образуют шаровое скопление, совершенно симметричное по всем направлениям. В наблюдаемых нами шаровых скоплениях (табл. IX) мы имеем хорошие приближения к этому типу космических образований, хотя Шэпли нашел, что большинство из них и не являются абсолютно сферическими. Если же система как целое обладает вращением, то все ее возможные конфигурации имеют сжатую и симметричную фигуру, подобно монете, часам или круглому бисквиту; иными словами, вращающаяся звездная система должна иметь форму очень схожую с той, которой, как мы знаем, обладает галактика. Более того, движения звезд должны обнаруживать в ней явление «потоков» того самого рода, который открыл Каптейн.

Таким образом и форма галактики и особенности звездных движений указывают на то, что галактическая система в ее целом должна находиться в состоянии вращения. Как мы видели, недавние исследования Оорта, Пласскетта и других обнаруживают почти с несомненностью, что вращение, требуемое теорией, имеет место в действительности. Звездные движения указывают на то, что вся галактическая система находится в состоянии вращения, причем скорость этого вращения неодинакова в различных местах и соответствует одному обороту в 230 миллионов лет в областях, смежных с Солнцем. Оказывается, что втулка этого гигантского колеса, и по направлению и по расстоянию от нас, лежит близко от того места, в котором Шэпли, основываясь на своих исследованиях распределения шаровых скоплений, еще раньше наметил геометрический центр галактической системы.

Таким образом, поскольку вращение не может возникнуть из ничего, все явления указывают нам на то, что галактическая система должна была произойти из вращающегося тела. Но нам известен только один тип астрономических тел, достаточно крупных по размерам для того, чтобы превратиться в галактическую систему: это

большие туманности; и так как про большинство из них мы предполагаем, а про некоторые знаем достоверно, что они находятся в состоянии вращения, то имеются все основания заключить, что галактическая система родилась из туманности; возможно даже, что структура ее еще до сих пор такова, что мы признали бы в ней туманность, если бы смотрели на нее с такого же расстояния, с какого мы видим другие большие туманности. Определяемый из наблюдений период вращения галактической системы, порядка 230 миллионов лет, существенно больше, чем те периоды, продолжительность которых нам известна или предполагается для какой-либо туманности; но и размеры галактической системы больше, чем размеры всех известных туманностей; оба эти факта идут навстречу друг другу. Далее, число звезд в галактической системе, вероятно, существенно больше, чем в какой-либо туманности, так же как и общая масса ее звезд. [⊙] Все это показывает, что если галактика есть одна из больших туманностей или когда-нибудь была таковой, то она должна иметь необычайно большие размеры и массу.

Мы видели, что Солнце и звезды непрерывно теряют свою массу в процессе излучения энергии. Отсюда следует, что общая масса галактической системы непрерывно убывает и что вследствие этого непрерывно ослабевает ее притягательное действие на звезды, входящие в ее состав. Если бы это действие внезапно совершенно прекратилось, то каждая звезда, вместо ее действительного, искривленного пути, стала бы двигаться в точности по прямой, сохранив при этом свою скорость; ее не отвлекали бы с этого пути силы притяжения других звезд; звезды, образующие теперь галактическую систему, рассеялись бы

⊙ Выше были даны следующие определения:

Общая масса галактики	240	миллиардов	✓
Масса туманности M. 31	3,5	»	
» » N. G. C. 4594	2,0	»	

(единицей масс служит масса Солнца).

по всему пространству. Короче говоря, если бы силы притяжения звезд были уничтожены, то галактическая система начала бы расширяться с большой скоростью.

Хотя все это не более как невероятное предположение, надо все же иметь в виду, что постепенное уменьшение силы притяжения звезд, по мере того как они превращают свою массу в излучение, должно быть причиной постоянного, хотя бы и очень медленного расширения галактики; вычисления приводят к выводу, что галактика, расширяясь с той скоростью, как теперь, должна была бы удвоить свои размеры примерно в 30 миллионов лет. Когда звезды были полны юношеской силы и расточали свое вещество более щедро, чем теперь, это расширение должно было идти еще более быстрым темпом; таким образом представляется вероятным, что в отдаленные эпохи галактика была существенно меньшей и более компактной, чем теперь.

Мы видели, что звезды в больших туманностях представляются нам соединенными в скопления или сгустки. Шаровые скопления в галактической системе, возможно, являются сгустками звезд одного и того же типа; они не испытали возмущений со стороны других групп звезд и потому приняли шаровидную форму под влиянием своего собственного притяжения, как это произошло бы с массой газа. Шэпли находит, что эти скопления лежат несколько в стороне от галактической плоскости; это указывает повидимому на то, что скопления, проходившие через эту плоскость, где они могли встретить другие звезды на своем пути, были дезорганизованы и разбиты.

Но, переходя от шаровых скоплений к так называемым движущимся скоплениям, каковы например Плеяды, или Гиады, или звезды Большой Медведицы вместе с толпой сопутствующих им звезд, мы встречаем иную картину: все эти скопления движутся, вообще говоря, в плоскости галактики. Вполне возможно, что они представляют собой последние остатки шаровых скоплений, разбитых взаимо-

действием с другими звездами, причем все звезды этих скоплений, кроме самых массивных, оказались выбитыми из строя. Математический анализ показывает, что взаимодействие между звездами такого движущегося скопления и другими звездами в галактической плоскости должно привести к тому, что каждое скопление примет форму плоского бисквита или часов с диаметром в $2\frac{1}{2}$ раза большим толщины скопления. Представляется знаменательным, что подобное сжатие обнаруживается у большинства движущихся скоплений и что степень этого сжатия сходится в допустимых пределах с его вычисленной величиной. Можно предположить далее, что «местное скопление», окружающее Солнце (стр. 96), есть остаток такого сгустка звезд.

Движение этих скоплений в свою очередь может вызывать у них сжатие иного характера, именно перпендикулярное направлению движения. Такое дополнительное сжатие обнаруживается у некоторых движущихся скоплений, и замечательный пример его даст скопление Большой Медведицы. Мы убедимся в дальнейшем, что массы, которыми звезды обладают теперь, не дают возможности предположить, что звезды существовали дальше чем от пяти до десяти миллиардов лет. Но, как показано в гл. III, нужен был именно столь огромный промежуток времени для того, чтобы у них проявились те признаки возраста, какие обнаруживают нам их распределение и движение в пространстве. Мы находим таким образом, что самое правдоподобное объяснение происхождения галактической системы состоит в том, что вся она произошла от распада одной огромной туманности, от пяти до десяти миллиардов лет тому назад. Остановимся здесь на минуту и сравним это с другой гипотезой, к которой склонялись некоторые астрономы, а именно — что рождение звезд происходит непрерывно во все времена. При такой точке зрения мы должны представить себе, что бытие звезд во вселенной от их рождения и до угасания течет бесконечным устано-

вившимся потоком — подобно тому, как проходит бесконечный и установившийся поток поколений людей, идущих от их колыбелей к могилам; здесь каждое новое поколение, приходя на смену другому, занимает то место, которое предыдущее поколение освободило перед тем. С этой точки зрения звезда Пласкетта, масса которой превосходит примерно в сто раз массу Солнца, должна представлять собой образование сравнительно недавних эпох, между тем как звезда Крюгер 60, с массой всего лишь в одну пятую массы Солнца, должна быть очень и очень старой — пожалуй на 100 миллиардов лет старше звезды Пласкетта.

В настоящее время наблюдательная астрономия не может еще окончательно решить, какая из этих конкурирующих гипотез верна; но она смотрит скорее неодобрительно на теорию установившегося потока звездных поколений. В установившемся населении число людей, обладающих в данное время каким-либо определенным признаком, в точности пропорционально длине того промежутка времени, в течение которого у них наблюдается этот признак. Допустим например, что время, в течение которого у человека держатся молочные зубы, в четыре раза короче, чем время, в продолжение которого он обладает постоянными зубами зрелого возраста. Если бы обследование зубов у данного населения обнаружило, что имеется вчетверо больше людей с постоянными зубами, чем людей с молочными, то это послужило бы во всяком случае основой для предположения, что мы имеем дело с установившимся населением. Но если бы, напротив того, было обнаружено в сто раз больше людей с постоянными зубами, чем с молочными, мы увидели бы в этом признак того, что мы имеем дело отнюдь не с установившимся населением. И если бы к тому же имелись еще другие доказательства в пользу того, что все это население приблизительно одинакового возраста, мы, конечно, были бы склонны принять эти доказательства и считать 1% слу-

чаев молочных зубов за случаи приостановленного развития. Мы судим о возрасте звезд не по их зубам, но по их массам и по их действительной яркости. Но действительные яркости звезд не подчиняются тому статистическому закону, который должен был бы обнаружиться в установившемся звездном населении. В нем насчитывается так много звезд зрелого возраста и так мало звезд-юношей и звезд-ветеранов, что гипотеза установившегося непрерывного рождения звезд вряд ли является приемлемой. И действительно, у нас имеются, пожалуй, определенные указания на то, что начало бытия звезд относится к тому же времени, когда произошло и наше Солнце. Но это естественно приводит нас обратно к нашей точке зрения на происхождение галактической системы из недр спиральной туманности, звездообразовательная деятельность которой протекала преимущественно от пяти до десяти миллиардов лет тому назад.

ПРОИСХОЖДЕНИЕ ДВОЙНЫХ СИСТЕМ.

Изучая тот процесс, который мог привести к рождению туманностей, мы заметили, что существование потоков в этой исходной среде должно было наделить все образующиеся туманности различными скоростями вращения. По той же причине и детям туманностей, звездам, должно было быть сообщено вращение при их рождении. Это вращение необходимо и по другой причине. Из общего закона сохранения моментов вращения[⊙] вытекает, что вращение, подобно энергии, не может исчезнуть окончательно. Общее количество его остается неизменным, так что при распаде туманности на звезды первичное вращение туманности должно сохраниться во вращениях звезд. Таким образом звезды, начиная свое бытие, уже наделены вращениями от породившей их туманности, в дополнение к вра-

⊙ См. примечание к стр. 218.

щениям, происходящим за счет потоков, возникавших в процессе ступения.

Непрерывная потеря массы обуславливает изменение физического состояния звезд, и мы увидим в следующей главе, что это изменение, вообще говоря, вызывает сокращение диаметра звезд. Но при этом, согласно закону сохранения моментов вращения, по мере сокращения звезды увеличивается скорость ее вращения.

✓ Короче говоря, звезды, старея, вращаются все быстрее и быстрее.

Но и в процессе образования звезд из недр породившей их туманности вращение должно играть самую существенную роль. Туманность, совершенно лишенная вращения, по всему, что мы знаем, не могла бы вовсе распасться на звезды; и этот теоретический вывод повидимому подтверждается наблюдениями, так как туманности вполне сферической формы (рис. 1, табл. XVI) никогда не разлагаются в телескоп на отдельные звезды. С другой стороны мы показали, что у туманностей, обладавших начальным вращением, скорость его должна была непрерывно увеличиваться в силу их сокращения, пока наконец вращение не повлекло бы за собой распада туманности и образования из нее семейства звезд. Теперь естественно возникает вопрос: не послужит ли и увеличение скорости вращения звезд причиной к тому, чтобы и они в свою очередь распались на части, создавая третье поколение астрономических тел? Здесь снова, казалось бы, мы в праве ожидать, что математический анализ одинаково приложим к большим и к малым телам и вовсе не зависит от их масштаба. И действительно, детальный анализ проблемы приводит к выводу, что процесс, который мы изучали, мог бы повториться еще раз и привести к появлению следующего поколения меньших тел, если бы только для этого имелись подходящие физические условия.

Между тем в данном случае физические условия отнюдь нельзя признать подходящими; они несомненно не



Гавард-обсерватория.

Малое Магелланово облако.



Карта Франклин-Ридис .

Большое Магелланово Облако.



Обсерватория Моунт-Вильсон.

Две туманности (N.G.C. 4395, 4401), вызывающие предположение о приливном действии.

достаточны по крайней мере в одном отношении. Хотя и вращающаяся звезда может выбрасывать газообразную материю в ее экваториальной плоскости, но этот процесс будет происходить в значительно меньшем масштабе, чем у туманностей.

Мы могли бы думать, что изверженное вещество, как и прежде, образует сгущения; но вычисление показывает, что для того, чтобы оказаться жизнеспособным, такое сгущение — если только молекулярные скорости не будут необычайно малы, — должно обладать большей массой, чем сама звезда. Это означает, что при всех допустимых молекулярных скоростях извержений газ вовсе не мог бы образовать сгущений; он просто рассеялся бы в пространстве, образуя атмосферу без каких-либо отдельных сгущений.

К этому сводится положение вещей, если рассматривать звезды как чисто газообразные массы, подобно тому, как мы это делали для туманностей. Однако здесь нельзя упускать из виду еще и другую возможность.

Дробление жидких звезд. Мы видели, что невращающаяся газообразная туманность принимает строго сферическую форму под влиянием ее собственных сил притяжения, между тем как уже слабое вращение должно придать ей сжатую апельсинообразную форму, как у Земли. Земля тоже приняла эту форму в силу ее вращения; однако ее внутреннее строение весьма существенно отличается от строения газообразной туманности.

Строгое математическое исследование приводит к выводу, что сжатая форма является общей для всех медленно вращающихся тел, независимо от их внутреннего строения; ее принимают одинаково и газы, и жидкости, и пластичные тела. Но форма быстро вращающегося тела должна весьма сильно зависеть от его внутреннего строения и состава, причем особенное значение имеет здесь степень сгущения вещества этого тела в его центральных областях.

В виду значительной сжимаемости газов, центральное сгущение достигает наибольшего возможного значения именно в чисто газообразных телах. Противоположная крайность осуществляется в массе однородной несжимаемой жидкости, как например у воды, в которой центрального сгущения не может быть вовсе. Если у массы этого последнего типа увеличивается скорость вращения, то слегка сжатая, апельсинообразная форма просто переходит в формы с более выраженным сжатием. То, что происходит с газообразными массами, именно образование острого края вдоль экватора, здесь исключается совершенно, так что в разрезе фигура всегда сохраняет эллиптическую форму. Но при более высоких скоростях вращения круговая форма экваториального сечения теряется; оно тоже становится эллиптическим. Теперь фигура имеет уже три неравных диаметра, но все ее сечения остаются строго эллиптическими: она представляет собой эллипсоид. После этого наибольший диаметр продолжает удлиняться, пока масса, сохраняя все время эллипсоидальную форму, не образует сигарообразной фигуры, длина которой приблизительно в три раза больше ее наименьшего диаметра.

Здесь начинается ряд новых явлений. Жидкая масса постепенно стекает к двум точкам на самом длинном диаметре, причем по середине ее образуется как бы борозда или сужение. Это сужение делается все глубже и глубже; наконец оно разрезает вращающуюся массу на два отдельных тела, которые начинают теперь обращаться в орбитальном движении друг около друга и образуют двойную звезду.

Эта последовательность явлений показана на рис. 11; чертеж, изображающий последнюю стадию этого процесса, как она осуществляется в действительных двойных звездах, дан на стр. 84.

Для сравнения на рис. 12 изображена последовательность конфигураций, принимаемых массой вращающегося

газа; она совпадает с той последовательностью форм туманностей, которую мы наблюдаем в действительности и которая представлена в снимках на табл. XVI.

Обе цепи фигур, имеющих на рис. 11 и 12, соответствуют, как надо помнить, двум крайним случаям, именно вращающемуся телу, в котором материя распределена совершенно равномерно по всему объему, и вращающемуся телу, вещество которого значительно сгущено в его центральных областях. Но строение действительных небесных тел должно соответствовать, очевидно, чему-то среднему между обеими этими крайностями; потому, казалось бы, мы можем ожидать, что действительные астрономические тела должны проходить через последовательность конфигураций, промежуточную между изображенными на рис. 11 и 12. Однако теория показывает, что этого с ними не будет. Все тела, у которых центральное сгущение меньше определенного критического значения, проходят через серию конфигураций рис. 11 или только несущественно отличную от них; все тела, у которых центральное сгущение больше этого критического значения, пройдут через серию рис. 12. Поэтому, когда центральное

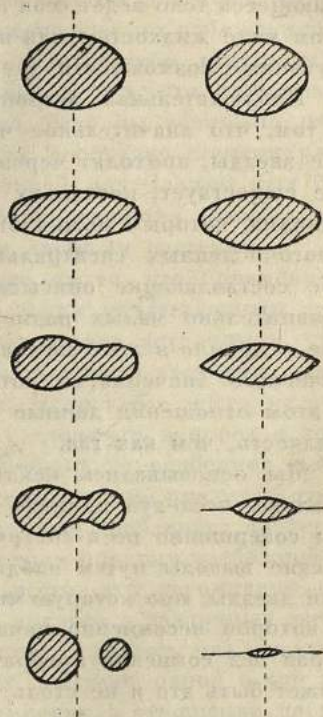


Рис. 11. Последовательность конфигураций вращающейся жидкой массы.

Рис. 12. Последовательность конфигураций вращающейся массы газа.

сгущение достигает критического значения, последовательность возможных конфигураций внезапно перебрасывается с рис. 11 на рис. 12. Короче говоря, всякое вращающееся тело ведет себя или как если бы оно было в чистом виде жидкостью или же в чистом виде газом; промежуточные возможности здесь исключаются.

Наблюдательная астрономия не оставляет сомнений в том, что значительное число звезд, быть может даже все звезды, проходят через серию конфигураций рис. 11. Не существует, поскольку мы знаем, никакого иного механизма, которым можно было бы объяснить образование многочисленных спектрально-двойных систем, у которых обе составляющие описывают друг около друга орбиты сравнительно малых размеров. Следовательно центральное сгущение в этих звездах должно быть ниже того критического значения, о котором мы сейчас говорили; и в этом отношении данные звезды ведут себя скорее как жидкость, чем как газ.

Мы основывались исключительно на математическом анализе, исследуя процесс дробления в его деталях. Но мы совершенно не в состоянии проверить наши теоретические выводы путем наблюдений. На небе нет ни единой звезды, про которую мы могли бы сказать: вот звезда, у которой несомненно начался процесс дробления и которая без сомнения превратится в двойную систему. Но может быть это и не столь удивительно. Процесс дробления протекает по всей вероятности весьма быстро по сравнению с продолжительностью жизни звезд, так что нам во всяком случае пришлось бы исследовать очень много звезд, прежде чем напасть на ту, у которой этот процесс теперь идет.

Но с другой стороны звезда, у которой происходит подобный процесс дробления, должна была бы быть легко отличима от обыкновенных звезд. Математический анализ показывает, что внутри ее должно господствовать значительное смятение, так что она едва ли могла бы испу-

скать ровный, постоянный свет: это была бы «переменная звезда». Далее, в ее состоянии должен происходить ряд последовательных перемен (хотя остается еще открытым вопрос, будут ли они достаточно быстры для того, чтобы их можно было обнаружить за несколько лет наблюдений); наконец, если бы в отношении какой-либо группы или класса звезд имелось подозрение в том, что они находятся в процессе дробления, то было бы возможно расположить все эти звезды в ряд, сообразно степени развития у них этого процесса; такой ряд должен был бы оканчиваться звездами, физические свойства которых соответствуют наиболее молодым двойным системам.

Недавно я обратил внимание на то, что переменные звезды типа Цефеид, которые своим неразгаданным еще механизмом колебаний яркости оказали астрономам уже столько ценных услуг, могут быть просто звездами, находящимися в стадии дробления. Недостаток места не позволяет нам подойти к разбору сложного вопроса о том, насколько обнаруживается у Цефеид то особенное свойство, к которому приводит математический анализ в отношении звезд, находящихся в стадии дробления; но легко видеть, что они удовлетворяют трем простым требованиям, поставленным выше. Прежде всего, это несомненно переменные звезды, и колебания яркости у различных звезд этого типа настолько схожи друг с другом, что имеются веские основания приписать их действию одной и той же причины. Далее возникают сомнения в отношении постоянства периодов некоторых Цефеид; так Герцшпрунг нашел, что у звезды-прототипа этого класса, именно δ Цефея, которая наблюдается уже 126 лет, период колебания яркости уменьшается в среднем приблизительно на одну десятую секунды в год; таким образом, за миллион лет ее период, равный теперь $5\frac{1}{3}$ дням, сократился бы несколько больше, чем на целый день. Наконец д-р Отто Струве нашел, что последовательность Цефеид может быть весьма хорошо связана с последовательностью двойных

систем, происхождение которых представляется относительно недавним. Таким образом перспективы «теории дробления» для Цефеид кажутся обещающими, но, разумеется, эта теория должна быть подвергнута самым внимательным испытаниям, прежде чем ее можно будет окончательно принять; но мы отнюдь не будем здесь утверждать что она уже подверглась подобным испытаниям или что она принята в широких астрономических кругах.

По другой, существенно отличной теории Цефеид, предложенной первоначально Плюммером и Шэпли, эти переменные звезды являются пульсирующими газовыми сферами. Математическая теория явлений, происходящих в таких газовых массах, развита Эддингтоном и другими; но повидимому она не может быть согласована с явлениями, наблюдаемыми в переменных звездах типа Цефеид.

РАЗВИТИЕ ДВОЙНЫХ СИСТЕМ.

В чем бы ни заключался процесс образования двойных систем, перед нами открывается сравнительно легкий путь при попытке проследить их дальнейшее развитие. Здесь нужно учесть одновременное влияние трех причин.

Приливное трение. Первое из трех явлений, которые необходимо иметь здесь в виду, обладает сравнительно короткой продолжительностью в космических процессах. Джордж Дарвин, впервые обративший на него внимание и исследовавший его действие, назвал его «приливым трением». Когда вращающаяся масса еще только раздваивается и образует двойную систему, расстояние между обоими ее составляющими так мало, что каждая из них по необходимости вызывает огромные приливы на другой. Дарвин показал, что эти приливы увеличивают исходное расстояние между обоими телами и этим самым уравнивают скорости их вращения. После того как действие этих приливов продлится миллионы лет, скорости вращения обоих тел, а также скорости обращения каждого из них

вокруг другого должны стать равными друг другу; тогда каждое из тел будет постоянно обращено к своему спутнику одной и той же стороной, и оба они должны обращаться друг около друга наподобие обеих масс гимнастической гири (гантели), соединенных невидимым стержнем.

Хотя Солнце и планеты и не образуют двойной системы в узком техническом смысле этого слова, тем не менее и они подвержены тем же самым силам, как и настоящие двойные системы. Так действием приливного трения объясняется тот факт, что Меркурий обращен к Солнцу всегда одной и той же стороной или что Венера вращается столь медленно вокруг своей оси, что она остается обращенной одной и той же стороной к Солнцу целые дни, а вероятно и целые недели. По мере удаления от Солнца действие приливного трения быстро ослабевает. Но вероятно здесь имеет значение тот факт, что у ближайших к Солнцу планет, у Земли и у Марса, сутки длятся около 24 часов, между тем как у удаленных планет, именно Юпитера, Сатурна и Урана, они равны всего 10 часам. Периоды вращения Нептуна и Плутона неизвестны. Оставляя их в стороне, мы видим, что чем дальше планета от Солнца, тем быстрее она вращается, а это и есть именно тот эффект, который должен быть вызван приливым трением.

Подобно этому приливым трением несомненно объясняется в ее существенных чертах современная конфигурация системы Земля-Луна; именно оно удалило Луну от Земли на то расстояние, на котором Луна находится теперь, и оно же является причиной того, что Луна всегда обращена к нам одной стороной. Приливное трение действует, конечно, и теперь. От притяжения Луны зависят в значительной мере приливы земных океанов: эти приливы, оказывая давление на твердую Землю под ними, замедляют ее вращение; по этой причине земные сутки непрерывно удлиняются и будут продолжать удлиняться до тех пор, пока скорости вращения Земли и Луны во-

круг их осей и скорости их обращения друг около друга не придут в полный унисон. Когда настанут эти времена, Земля будет постоянно обращена одной и той же стороной к Луне, так что обитатели одного полушария никогда не смогут увидеть Луну вообще, между тем как на другой стороне Земли Луна будет светить каждую ночь. К этому времени продолжительность суток и месяца станет равна, они будут длиться 47 теперешних дней. Джеффрис вычислил, что наступления такого положения вещей надо ожидать примерно через 50 миллиардов лет.

После этого приливное трение не будет уже больше увеличивать расстояние Луны от Земли. Под совместным действием солнечного и лунного приливов вращение Земли будет продолжать замедляться, и в то же время Луна будет постепенно приближаться к Земле. Когда наконец, через невообразимое число веков, Луна будет притянута к Земле приблизительно на 20 000 км, приливы, которые Земля будет вызывать в твердом теле Луны, раздробят ее на мелкие осколки (см. ниже, стр. 309); эти осколки составят систему крошечных спутников, обращающихся вокруг Земли, подобно тому как частицы в кольце Сатурна обращаются вокруг Сатурна или как астероиды обращаются вокруг Солнца.

Мы уже указали в главе III (стр. 194), что по современному состоянию системы Земля-Луна оказывается возможным определить возраст Земли; Джеффрис находит, что этой системе потребовалось около 4 миллиардов лет, чтобы дойти до той конфигурации, какую она имеет теперь.

Но такой интервал, каким бы он ни казался огромным в наших земных масштабах, есть только мгновение в жизни звезд. Звезды, входящие в состав настоящих двойных систем, достигают состояния, подобного состоянию системы Земля-Луна, через очень короткую часть их жизни; пройдя эту стадию, они со временем доходят до той конечной конфигурации, в которой каждая из них

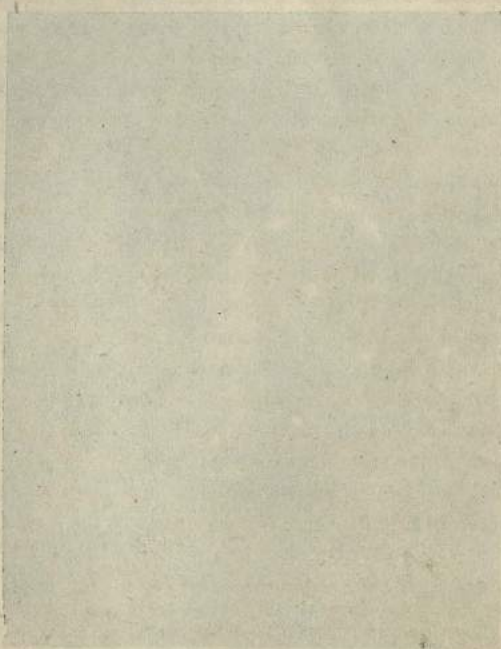


Туманности-близнецы N.G.C. 4367.



Обсерватория Моунт-Вильсон.

Туманность N.G.C. 7479.



Copyrighted Material

Transmitted N.C. 7370

постоянно обращена одной и той же стороною к другой. До этих пор приливное трение отдаляло обе массы все дальше и дальше друг от друга, но, как только это состояние достигнуто, приливы на обеих составляющих получают установившийся характер и действие приливного трения на этом прекращается. Таким образом разделение обоих тел, вызываемое приливным трением, доходит до своего предела, и эти тела — поскольку речь идет о действии приливного трения — могут продолжать свое вращение, как оно было только что описано, на все времена.

Потеря вещества. Когда приливное трение теряет свою силу, в действие вступает новый фактор. Мы вычислили, что масса Солнца уменьшается со скоростью 250 миллионов тонн в минуту и что она уменьшалась с такой же скоростью или со скоростью того же порядка в течение биллионов лет и будет еще продолжать уменьшаться в течение грядущих биллионов лет. Земля находится именно на данном ее расстоянии от Солнца потому, что это расстояние точно соразмерено с массой, какую имеет Солнце в настоящее время. Если бы масса Солнца внезапно уменьшилась на половину, его притягательное действие на Землю тоже уменьшилось бы вдвое, и Земля отошла бы на большое расстояние от Солнца. [⊙]

Конечно, невероятно, чтобы Солнце внезапно потеряло половину своей массы; однако оно потеряло миллиард тонн за последние четыре минуты; по этой причине его гравитационное сцепление с Землей ослабело, и Земля стала двигаться по более обширной орбите; в данный момент радиус земной орбиты больше, чем он был четыре минуты тому назад; отсюда следует, что орбита Земли вокруг Солнца не является ни кругом, ни даже эллипсом со слабым эксцентриситетом; это спиральная кривая, вроде

[⊙] Детали для нас здесь несущественны, но фактически все сводится к тому, что Земля начала бы описывать вокруг Солнца эллиптическую орбиту вместо круговой, причем среднее расстояние ее от Солнца оказалось бы большим, чем теперь.

пружины у незаведенных часов. С каждым годом Земля отходит на крошечный шаг дальше от Солнца, в холод и в темноту; подробное вычисление обнаруживает, что ее среднее расстояние от Солнца увеличивается со скоростью около одного метра в столетие. Этот эффект, конечно, совершенно того же порядка, как тот, который имеет место (как мы уже знаем) в галактической системе в силу потери звездами их масс. Единственная разница в том, что в галактике происходит расширение системы из миллиардов звезд, тогда как система Солнце-Земля состоит всего лишь из двух тел.

Точно такие же явления должны иметь место в системах двойных звезд в силу потери массы обеими составляющими. Здесь обе они излучают энергию и следовательно одновременно теряют свое вещество. Точный анализ приводит к выводу, что они должны непрерывно отступать друг от друга, но что при этом форма их орбит не подвергается изменениям.

Однако ни каждый из только что описанных процессов в отдельности, ни оба они вместе не могут объяснить наблюдаемых форм и размеров орбит двойных звезд. Для этого мы должны обратиться еще к третьему процессу — к гравитационным воздействиям от близко проходящих звезд.

Мы уже видели, в какой мере эти воздействия ответственны за то статистическое распределение орбит двойных звезд, которое наблюдается в действительности.

В эволюции двойных систем обнаруживается комбинарованное действие всех этих факторов, а именно приливного трения, охватывающего интервалы в миллионы лет, потери массы, длящейся биллионы лет, и наконец возмущений от близко проходящих звезд, продолжающихся в течение столь же долгих периодов. Под совместным действием этих трех причин расстояние между обеими звездами увеличивается, и в то же время их орбиты теряют свою первоначальную форму.

Вторичное разделение. В то время как происходят эти изменения в орбитальном устройстве двойной системы, обе ее составляющие сами изменяются в своих физических свойствах в силу непрерывной потери массы; и подобно тому, как это было с породившей их звездой, такая потеря массы влечет за собой, вообще говоря, уменьшение объема каждой из звезд. Но такое сокращение обеих составляющих приводит к тому, что их форма проходит через всю ту последовательность конфигурации, которую мы изучали; и если оно продолжается достаточно долго, каждая из звезд может дойти до дробления на две отдельные массы. Таким образом одна или обе составляющие данной пары могут раздробиться вторично на двойную подсистему, что приводит к системе из трех или четырех звезд. Рэссель показал математически, что когда двойная система PQ в силу раздвоения Q на q и q' разделяется на тройную систему P, q и q' , то расстояние между q и q' не может быть больше, чем приблизительно одна пятая исходного расстояния PQ . Этот теоретический закон хорошо подтверждается наблюдениями. На рис. 13 изображена типичная кратная система, и мы замечаем, что расстояния между составляющими каждой из подсистем весьма малы по сравнению с расстояниями в главной системе.

Мы проследили теперь за развитием гипотетического первобытного газа через пять поколений астрономических тел:

хаос — туманности — звезды — двойные системы — подсистемы.

К ним нужно прибавить еще и шестое поколение, если в подсистеме произойдет дальнейший процесс дробления, как например у кратной звезды, изображенной на рис. 13. Генеалогия звезд начинается с обширной разреженной туманности, заполняющей все пространство; последнее по-

коление состоит из малых, сжавшихся и умирающих звезд, лишенных способности к дальнейшему дроблению. Эта генеалогия была установлена первоначально на чисто теоретической основе; однако нам не приходится сомневаться в ее общей правильности, так как наблюдения подтверждают ее неоднократно и почти на каждой ступени.

В

А

Мы едва ли ошибемся теперь, заметив, что эта же эволюционная серия астрономических тел могла быть открыта с одинаковым успехом из одних только наблюдений — за исключением «первобытного газа», о котором, по существу вещей, наблюдение не может нам ничего сказать.

ПРОИСХОЖДЕНИЕ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ.

С
D C

Для всех наблюдаемых астрономических объектов мы можем указать место в той эволюционной последовательности, которая была только что изучена, для некоторых — с окончательной уверенностью для других — с разумной степенью допущения; но все же здесь остается одно необъяснимое и значительное исключение: это солнечная система.

Рис. 13. Типичная краткая звездная система.

Космогония возникла впервые как попытка объяснить происхождение солнечной системы. То, что она ограничивала все свои усилия именно этой частной задачей, имеет историческое основание: на заре космогонических теорий астрономия только еще начинала осознавать существование чего-то внешнего по отношению к солнечной системе.

Обзор результатов современной научной космогонии, данный на предыдущих страницах, замечателен тем, что в нем показано, как космогония берет нас как бы в экскурсию вокруг всей вселенной, объясняя происхождение и возраст фактически всех встретившихся при этом объектов; и как

тов, и как затем, вернув нас обратно к родным краям, она останавливается в совершенном безмолвии перед ее колыбелью — солнечной системой.

Небулярная гипотеза Лапласа. Первая серьезная научная космогония представлена знаменитой «небулярной гипотезой» Лапласа. В 1755 году Кант уже подошел к представлению о первобытном газе, сгущающемся во вращающиеся туманности; отождествляя одну из таких туманностей с Солнцем, Кант предполагал, что планеты произошли в процессе отвердевания газообразных масс, выделенных этой туманностью, — во многом подобно тому, как мы объяснили здесь происхождение звезд. В 1796 г. с аналогичной гипотезой выступил Лаплас; но он развил ее подробно и с математической строгостью далеко за пределы возможностей Канта. Лаплас показал, что при непрерывном увеличении скорости вращения сокращающейся газообразной массы появляется сжатие ее фигуры; что затем она приобретает чечевицеобразную форму, которую мы уже изучали (рис. 3 на табл. XVI), и начинает извергать материю в ее экваториальной плоскости, или, лучше сказать, что ее главная масса, продолжая сокращаться, оставляет за собой выделяющееся из нее вещество. В этой стадии мы имеем нечто вроде туманностей, изображенных на рис. 4 и 5 табл. XVI; но Лаплас, не имея никаких данных о существовании подобных туманностей, указывал на Сатурн, окруженный его кольцами, как пример подобных образований (табл. XXIV). Лаплас предполагал далее, что кольцо выделенного газа должно сгуститься и образовать одну единственную планету. По мере того как главная масса сокращалась все больше, в ее экваториальной плоскости выделялись новые массы газа, которые затем должным порядком превращались в другие планеты, и так далее, пока не прекратилось сжатие Солнца и на этом не закончилось рождение планет. Повторение такого же процесса, но в значительно меньшем масштабе, привело к рождению спутников из планет.

Что эта гипотеза является с первого взгляда приемлемой, очевидно уже потому, что она удержалась и пользовалась общим признанием почти сто лет, прежде чем ей пришлось встретиться с какими-либо серьезными возражениями. Но в последнее время критические замечания стали появляться одно за другим и значение их оказалось столь жизненным, что необходимость отказа от этой гипотезы стала очевидной.

По Лапласу Солнце разделилось на части и породило планеты в силу избытка его вращения. Однако и теория и наблюдения не оставляют сомнений в отношении судьбы той звезды, у которой скорость вращения переходит за предел безопасности: такая звезда отнюдь не создаст семейства, но просто разлетится на части приблизительно одинаковых размеров, подобно слишком сильно запущенному маховику. Спектрально-двойные и кратные системы являются обломками звезд, разбившихся от избытка вращения; но они нисколько не похожи на солнечную систему.

Далее, по закону «сохранения моментов вращения» (стр. 218), вращение первичного Солнца должно было сохраниться во вращении Солнца, как оно есть теперь, и в обращениях планет вокруг него; складывая вместе все эти моменты, мы должны получить в сумме момент вращения первичного Солнца. Для полной точности в эту сумму нужно было бы включить еще поправку за массу всего излучения, которое Солнце испускало со времени рождения планет.

Мы можем вычислить ее, так как нам известен, хотя и в грубом приближении, возраст Земли; но эта поправка оказывается совершенно неощутимой.

Полный момент вращения первичного Солнца может быть вычислен с достаточной точностью, так как более 95% полного момента вращения всей современной солнечной системы падает на орбитальное движение Юпитера. Эта часть полного момента может быть определена

весьма точно, так что некоторая неуверенность в меньших слагаемых, дающих остальные 5%, может иметь только очень слабое влияние на всю сумму.

Между тем по вычислении этой суммы обнаруживается тот поразительный факт, что первичное Солнце вовсе не обладало достаточным вращением для того, чтобы оно могло разбиться на части. Прежде всего очевидно, что это не могло быть вызвано тем вращением, какое наблюдается у Солнца теперь: первым этапом по пути к дроблению в любой его форме является сжатие фигуры; но вращение Солнца вызывает у него теперь столь ничтожное сжатие, что самыми утонченными наблюдениями его еще не удалось открыть. Далее, если к моменту вращения Солнца мы прибавим момент вращения Юпитера и прочих планет в их орбитальных движениях, то найдем, что первичное Солнце вращалось примерно с той же скоростью, с какой Юпитер теперь вращается вокруг своей оси; следовательно оно должно было обладать таким же сжатием, как теперь у Юпитера. Но это сжатие, хотя оно и может быть легко измерено или даже обнаружено глазом в телескоп, отнюдь не достаточно, чтобы вызвать дробление вращающегося тела.

Солнце едва ли могло значительно измениться с тех пор, как были рождены планеты, потому что протекшие два миллиарда лет или около этого составляют только небольшую часть всей жизни Солнца. Но если мы предположим, что Солнце заметно сократилось за этот период, то найденный нами момент вращения был бы еще менее достаточен, чтобы вызвать распад огромного первичного Солнца, чем Солнца в его настоящем сократившемся виде. Итак, с какой бы стороны мы ни подходили, мы всегда приходим к заключению, что Солнце не могло подвергнуться дроблению вследствие избытка вращения, как предполагал Лаплас; в действительности оно никогда не могло обладать больше чем ничтожной частью необходимого для этого вращения.

Третье возражение имеет несколько отличный характер. Лаплас был величайший математик, и ничто не могло поколебать силу его отвлеченной теории как таковой. Современный, гораздо более тонкий анализ подтвердил ее во всех частях; ее подтвердили также наблюдения, о чем свидетельствуют снимки вращающихся туманностей (табл. XVI).

На этих снимках мы видим воочию, как протекает процесс, в сущности совершенно тождественный с тем, каким представлял его себе Лаплас, — не касаясь лишь огромной разницы в масштабах. Качественно все происходит так, как полагал Лаплас, но в столь грандиозном масштабе, какого он не мог и вообразить. Первичная туманность на этих снимках вовсе не есть одно единственное Солнце в процессе его образования; в ней имеется достаточно материи для создания сотен миллионов звезд; сгущения не превращаются в крошечные планеты размером в нашу Землю; каждая из них есть Солнце, и они насчитываются миллионами, а не единицами, как планеты в солнечной системе.

Здесь можно задать вопрос: почему то же самое не может произойти в том малом масштабе, какой имел в виду Лаплас? Разве применение математических выводов находится в зависимости от величины тех тел, о которых идет речь? Ответ на этот вопрос был уже дан (стр. 275). В малом масштабе все происходит сообразно тому же плану, как и в большом, пока мы не подходим к образованию сгущений; здесь вопросы масштаба приобретают первенствующее значение. Мы уже видели (стр. 235), что молекулы, из которых состоит Солнце, образовали, сгущаясь, единую звезду, так как число их было огромно; молекулы в моей комнате не образуют путем сгущения ровно ничего, так как их слишком мало. Подобно этому молекулы, отделяющиеся от Солнца или от иной звезды при их медленном сокращении (допуская здесь на минуту, что звезды вращались достаточно быстро

для того, чтобы такое выделение молекул было возможно), не могли бы образовать сгущений, так как в каждый данный момент их имелось бы для этого слишком мало. Они выделялись бы небольшими порциями, но небольшие порции газа не сгущаются, а рассеиваются в пространстве. Математический анализ решает этот вопрос окончательно, и его решение противоречит в корне гипотезе Лапласа. Не касаясь некоторых отдельных деталей, тот процесс, который представлял себе Лаплас, может объяснить рождение звезд из туманностей; но он не может объяснить рождения планет из звезд.

Теории «второго тела». Лаплас исходил из того, что Солнце нужно считать одиноким в пространстве, так как даже ближайшие его соседи слишком далеки, чтобы оказывать на него какое бы то ни было влияние. Такое предположение было вполне естественно; мы уже говорили о том, каким редким явлением должно быть настолько тесное сближение двух звезд, чтобы каждая из них могла воздействовать на другую. Но повидимому нельзя представить себе такого хода эволюции звезды, остающейся одинокой в пространстве, который привел бы к объяснению происхождения солнечной системы. Уже в 1750 году Бюффон высказал мысль, что солнечная система могла быть образована путем разрыва Солнца под действием другого тела, которое он называл «кометой». В изложении своей небулярной гипотезы Лаплас приводит и мнение Бюффона; но он отвергает его в кратких словах, указывая, что подобное допущение не дает возможности объяснить, почему орбиты всех планет имеют почти круговую форму, — возражение мало обоснованное, как будет показано несколько ниже. Но так как мы нашли, что одинокая звезда не может сама по себе породить солнечную систему, то представляется естественным изучить, что происходит в тех редких случаях, когда эволюционное развитие звезды получает иное направление в силу достаточно тесного сближения ее со второй звездой.

В 1880 г. Биккертон из Новой Зеландии, возвращаясь к мыслям Бюффона, предположил, что солнечная система образовалась от столкновения Солнца с другой звездой. Он считал, что тучи осколков, оставшихся после такого столкновения, могли образовать третье тело, подобное туманности, из сгущений которого произошли планеты; сопротивление, которое планеты должны были испытывать в своем движении через окружавшее их туманное вещество, могло постепенно привести их орбиты к формам достаточно близким к окружности, чем и объясняется по Биккертому их современный почти круговой вид. Но уже за десять лет до этого английский астроном и литератор Проктор высказывал аналогичные мысли, хотя и несколько менее отчетливо. В 1905 г. проф. Чэмберлин и Мультион из Чикаго выступили с несколько видоизмененной теорией, которой они дали название «планетезимальной гипотезы». Отказываясь от представления о действительном столкновении, они предположили, что некоторая вторая звезда, проходя мимо Солнца, оказала на него значительное приливное действие, в результате чего образование возвышений на солнечной поверхности (протуберанцы) должно было временно происходить с исключительной мощностью; извергаемое из Солнца вещество подымалось до необычайных высот и стучалось в небольшие твердые тела, — так называемые «планетезимали» — из агрегатов которых в конце концов образовались планеты. Но все эти теории были чрезвычайно гадательны. Они оказались почти совершенно не в состоянии выдержать суровое испытание математического анализа или объяснить хотя бы самые характерные особенности устройства солнечной системы; так например ни одна из них не поясняет, почему имеются целые семейства спутников у больших планет солнечной системы.

За три года перед тем как Чэмберлин и Мультион предложили планетезимальную теорию, я размышлял уже о том, возможно ли вообще, чтобы силы приливного дей-

ствия могли раздробить звезду и привести к образованию планетной системы. В 1916 г. я исследовал математически, что должно произойти в действительности, когда одна звезда действует на другую мощными приливообразующими силами. Результаты, к которым я пришел, не оставляли повидимому никаких возможностей для планетезимальной теории Чэмберлина и Мультона; они привели меня к формулировке «приливной теории» в ее современном виде; в этом виде, как мне кажется, ее принимает теперь большинство астрономов, считая, что она дает наиболее вероятное объяснение происхождения солнечной системы; конечно, рассчитывать на достоверность или на окончательное значение такая теория не может.

Приливная теория. Когда две звезды или два иных тела проходят близко друг от друга, но без столкновения, первичный эффект должен состоять в том, что каждое из них вызовет приливы на другом. Чем теснее сближение, тем сильнее будут, вообще говоря, эти приливы; однако известное влияние должна иметь и та скорость, с какой обе звезды проходят друг около друга, так как этим определяется продолжительность промежутка времени, в течение которого продолжается их взаимодействие.

Можно считать вероятным, что те спиральные рукава, которым спиральные туманности обязаны и своим названием и своим характерным видом, возникают именно в результате подобного приливного действия. Однако условия, с которыми мы встречаемся у туманностей, иные, чем у звезд: вращение туманностей должно во всяком случае вызвать выделение материи в их экваториальных плоскостях, так что даже незначительные приливные силы повлекут здесь сгущение материи в форме двух симметричных рукавов. Но требуется чрезвычайно тесное сближение двух звезд, чтобы извлечь материю из их недр; однако и при этом условии является более вероятным образование двух неравных и несхожих друг с другом

рукавов, возможно даже и появление всего лишь одного рукава.

Но в тех случаях, когда происходит действительно очень тесное сближение двух звезд, приливы могут иметь совершенно иной вид, чем вызываемые Солнцем и Луной слабые приливы наших океанов; тут они могут принять преувеличенную форму высоких гор вещества, движущегося по поверхности звезды. При еще более тесном сближении эти горы могут превратиться в длинные рукава газа, извлеченного из массы звезды. Если, как это должно быть в общем случае, массы обеих звезд не равны, то возмущения у более легкой из них будут, вообще говоря, сильнее, чем у более массивной звезды.

Рождение планет. Длинные рукава или струи материи, извлеченные из звезд приливным действием, имеют первоначально сплошное строение; однако анализ показывает, что они являются пригодными объектами для развития тех процессов, которые мы изучали как явления «гравитационной неустойчивости». В этих длинных газовых струях начинается образование сгущений тем самым порядком, который описан выше. Как и в предыдущих случаях, малые сгущения обречены на рассеяние, между тем как у сгущений более крупных степень сгущения усиливается, пока наконец вся струя не разобьется на несколько отдельных масс: так появляется семья планет у меньшей из встретившихся звезд. На табл. XXII и на верхней половине табл. XXIII мы видим по две туманности, находящиеся, по всей вероятности, под взаимным приливным действием; они могут дать нам некоторое представление об общем ходе изучаемых явлений; однако нужно твердо помнить, что все происходит здесь в неизмеримо большем масштабе, чем в солнечной системе, — иначе телескоп вовсе не мог бы обнаружить этого нам.

Когда новорожденные планеты начинают двигаться как отдельные и независимые тела, они испытывают притягательное действие обеих звезд и поэтому описывают

чрезвычайно сложные орбиты. Но постепенно более массивная звезда отходит, ее гравитационное воздействие ослабевает и наконец становится совершенно незначительным; планеты остаются при одном лишь орбитальном движении вокруг малой звезды. Если бы планеты двигались в чистых полях пустого пространства, их орбиты были бы в точности эллипсами. Но после грандиозной катастрофы, которая только что произошла, должны остаться всевозможные осколки; кометы, метеоры и иные мелкие тела, имеющиеся еще до сих пор в солнечной системе, представляют собой, быть может, их незначительную часть; но вероятно при этом из звезд выделилось особенно много пыли или газа, так что новорожденным планетам пришлось вначале пробивать свой путь в среде, оказывавшей некоторое сопротивление их движению. В этих условиях их орбиты не могли оставаться эллипсами; можно показать, что сопротивление подобного рода должно изменять форму орбит, так что с течением времени они должны приближаться к кругам, причем, если действие среды продлится достаточно долго, орбиты в конце концов превратятся в точные окружности.

Однако остатки газа и пыли должны были непрерывно сметаться планетами с их путей; со временем, когда форма планетных орбит оставалась, вероятно, все еще несколько отличной от круговой, они исчезли совершенно. Если все происходило именно так в солнечной системе, то в настоящее время в ней может находиться лишь ничтожная часть первичных осколков; и, вероятно, его исчезающие следы представлены теперь теми частицами космической пыли, которой объясняется явление зодиакального света. Тем не менее сопротивляющаяся среда существовала по видимому достаточно долго для того, чтобы привести большинство орбит как самих планет, так и их спутников, к форме приблизительно круговой.

Исключительные случаи замечательны в той же мере, как и случаи, находящиеся в общем соответствии с нашими

выводами. Сравнительно более вытянутые орбиты все еще существуют именно в тех областях, где, как мы можем предположить, первичное сопротивляющееся вещество было рассеяно наименее обильно в пространстве, именно на далеких окраинах солнечной системы и различных систем спутников планет. Орбита Плутона, самой отдаленной из всех планет, имеет более удлинненную форму, чем у всех остальных. Подобно этому в системах Юпитера и Сатурна самые удлиненные орбиты принадлежат спутникам, находящимся дальше всех других от центральных тел.

Наряду с этим можно отметить, что удлиненной форме орбит соответствуют малые массы движущихся по ним тел как у планет, так и у спутников. Орбита Меркурия, масса которого приблизительно в двадцать раз меньше массы Земли, имеет заметно вытянутую форму; в меньшей степени то же относится и к Марсу, масса которого равна одной девятой массы Земли. Объяснение этому предложено Джеффрисом. Тяжелые планеты, как Юпитер и Сатурн, должны были собирать вокруг себя значительные массы вещества из окружающей среды и нести их с собой по пространству как некоторые обширные оболочки. Движение массивных планет должно было испытать влияние взаимодействия между этой оболочкой как целым и остальной частью сопротивляющейся среды; в силу этого их орбиты могли гораздо скорее достичь круговой формы, чем у более легких планет, которые собирали вокруг себя оболочки гораздо меньших размеров. То же самое, с соответствующими изменениями, применимо и к системам планетных спутников.

Джеффрис вычислил, какова должна была быть та скорость, с какой происходило изменение форм планетных орбит под влиянием действия сопротивляющейся среды. Данные этой проблемы неизбежно страдают неопределенностью, и это отражается, конечно, на выводах; однако исследование Джеффриса дало ценное подтверждение дру-

гим попыткам определения продолжительности времени, протекшего после рождения планет.

Мы можем перейти теперь к изучению тех физических изменений, которые за все это время должны были происходить в планетах. Длинная струя материи, вырванная из недр Солнца, была вероятно плотнее всего в ее средних частях, так как эти части были извержены в то время, когда вторая звезда находилась на наименьшем расстоянии и поэтому ее действие было всего сильнее. Мы можем представить себе эту струю, по крайней мере схематично, в форме сигары, т. е. с утолщением посередине и более тонкой по краям; поэтому, при образовании в ней сгущений, те из них, которые были ближе к ее середине, оказались вероятно более богатыми материей, чем появившиеся у ее краев. Этим объясняется повидимому, почему обе наиболее массивные планеты, Юпитер и Сатурн, занимают как раз среднее положение в последовательности планет.

На рис. 14 изображены планеты в порядке их расстояний от Солнца, причем размеры их выдержаны приблизительно в масштабе. Тысячи астероидов, орбиты которых заполняют теперь пространство между Марсом и Юпитером, представлены под видом одной планеты, так как, вообще говоря, теперь предполагается, что астероиды были образованы при распаде одной единственной планеты, как мы это скоро поясним.

Окружая на нашей диаграмме все планеты непрерывным контуром, мы можем восстановить мысленно ту сигарообразную струю, из которой они произошли, и мы сразу видим, что самые крупные планеты образовались там, где материя была обильнее всего.

Приливная теория, предсказывающая все эти особенности строения солнечной системы, была предложена и все вытекающие из нее следствия были разработаны за много лет до того, как был открыт Плутон. Таким образом эта теория получает теперь существенное подтвер-

ждение в том обстоятельстве, что все данные, относящиеся к Плутону, оказываются в полном соответствии с ее выводами.

Рождение спутников. Уже было отмечено, что существенным отличием солнечной системы от нормальной двойной звезды является резкое неравенство масс Солнца

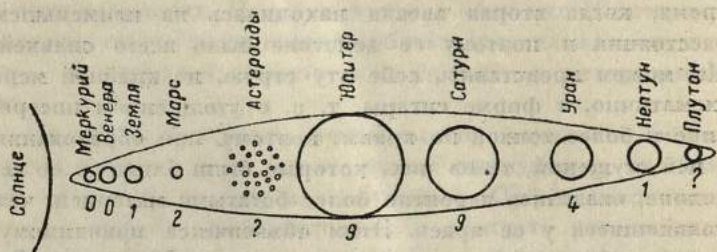


Рис. 14. Схема, поясняющая происхождение планет из сигарообразной струи газа. При каждой планете показано число ее спутников.

и планет, и что именно оно приводит нас к предположению о совершенно различном происхождении этих космических образований. Но совершенно такое же неравенство масс повторяется и в системах планет и их спутников. Подобно тому как Солнце в огромное число раз превосходит своей массой рожденные им планеты, так и планеты оказываются в свою очередь гораздо более массивными, чем их дети-спутники. Масса Солнца в 1047 раз больше самой крупной из всех его планет и в несколько миллионов раз больше самой малой из них. В системе Сатурна и его спутников соответствующие числа суть 4150 и приблизительно 16 000 000; наибольшее приближение к равенству имеет место в системе Земля-Луна: масса Земли только в 81 раз больше массы Луны. При этом в системе спутников Сатурна — и в меньшей степени в системе спутников Юпитера — имеет место то же самое явление, как и в самой планетной системе: массы спутников увели-

чиваются до максимума по мере удаления от планеты и затем снова постепенно уменьшаются. И это опять-таки вызывает у нас представление о сигарообразной струе, у которой масса сосредоточена более обильно в ее средних частях. Сопоставляя это с резким различием масс у первичного и у вторичных тел солнечной системы, т. е. у Солнца и у планет, мы видим в этом достаточно убедительное указание на то, что в рождении планетных спутников проявилось действие того же самого процесса, которым обусловлено происхождение их родителей-планет.

Мы можем представить себе, в чем состоял этот процесс в его общих чертах. Немедленно по их рождении планеты начинают остывать. Самые крупные планеты, Юпитер и Сатурн, должны охлаждаться медленнее всего, самые малые—быстрее остальных. Эти последние могут так быстро потерять свое тепло, что уже почти сразу по их рождении они переходят в жидкое, быть может даже и в твердое состояние. Пока происходят эти явления, планеты все еще блуждают по своим первичным неустойчивым орбитам; двигаясь по ним, они могут пройти так близко от Солнца, что начинается вторая последовательность разрывов, вызванных приливным действием. Теперь уже само Солнце играет ту роль, которая прежде принадлежала шедшей навстречу ему из пространства звезде; роль Солнца теперь играют планеты. И вот Солнце может вырвать длинные струи материи с поверхности планет, и эти струи, образуя сгущения, могут привести к появлению на свет третьего поколения астрономических тел, именно спутников планет.

Так, в общих чертах, рисует себе приливная теория процесс рождения спутников.

Математический анализ показывает, что, чем ближе была планета при ее рождении к жидкому состоянию, тем менее вероятно, чтобы она могла подвергнуться разрыву под действием все еще газообразного Солнца. Но если бы такой разрыв ее все-таки произошел, то массы самой пла-

неты и ее спутников должны быть уже не столь неравными друг другу, как в случае более газообразной планеты.

Таким образом, переходя от чисто газообразных планет к тем планетам, которые перешли в жидкое состояние при самом их рождении или немедленно после него, нам следует ожидать встретить по началу планеты с большим числом сравнительно малых спутников и затем, проходя через промежуточные случаи планет с малым числом сравнительно крупных спутников, подойти в конце концов к планетам, у которых спутников вовсе нет.

Мы уже знаем, что крупные центральные планеты, Юпитер и Сатурн, должны были дольше всего оставаться в газообразном состоянии и что меньшие планеты должны были быстрее других превратиться в жидкость; и мы видим теперь, что это предсказание теории в точности соответствует тому, с чем мы встречаемся в солнечной системе. Начнем с Юпитера и Сатурна; у каждого из них имеется по девяти сравнительно небольших спутников; за ними идет Марс всего лишь с двумя спутниками, затем Земля с ее единственным, но сравнительно крупным спутником, и наконец Венера и Меркурий — две планеты без спутников. Идя в противоположном направлении, мы после Юпитера и Сатурна с их девятью крошечными спутниками встречаем Урана с четырьмя малыми спутниками и Нептуна с одним большим. Цифры, имеющиеся на рис. 14 при каждой из планет, соответствуют числу ее спутников. Расставленные таким образом, эти числа раскрывают с совершенной очевидностью, что закон и порядок устройства системы спутников в точности соответствуют предсказаниям приливной теории. Сигарообразная схема применима не только для пояснения размеров планет, но также, как и должно быть, для числа их спутников.

Земля и Нептун, имея по одному сравнительно крупному спутнику, стоят очевидно на границе между теми планетами, которые были первично жидкими, и теми, ко-

которые первично были газообразными. Это приводит нас к предположению, что Меркурий и Венера должны были обратиться в жидкость или же отвердеть немедленно по их рождении, что Земля и Нептун были частично жидкими и частично газообразными и что Марс, Юпитер, Сатурн и Уран родились газообразными и остались такими по крайней мере до рождения семейств их спутников.

Мы можем, пожалуй, указать еще на один факт в доказательство правильности приливной теории: если учесть положение Марса и Урана в последовательности всех планет, то массы их оказываются чрезмерно малыми. Действительно, если все планеты, как мы предположили, возникли из одной непрерывной струи вещества, то масса Марса при его рождении должна была по всей вероятности иметь промежуточное значение между массами Земли и Юпитера; точно так же масса Урана должна была заключаться между массами Сатурна и Нептуна. Но если, как мы должны были допустить далее, Марс и Уран были обеими наименьшими планетами из числа рожденных в газообразном состоянии, то естественно допустить, что еще до охлаждения в жидкое состояние обе эти планеты потеряли больше своего вещества, чем другие планеты, путем рассеяния в пространство молекул их внешних слоев. Если же Марс и Уран являются только остатками планет, некогда гораздо более массивных, чем теперь, то отмеченная особенность их масс теряет свою остроту; куски загадочной картинки начинают складываться здесь весьма удовлетворительным образом.

Плоскости орбит. Всякая вращающаяся масса, будь она жидкой или газообразной, имеет определенную ось вращения и, под прямым углом к ней — определенную экваториальную плоскость, которая симметрично делит массу на две в точности равные и подобные половины. Когда масса подвергается дроблению под влиянием ее собственного вращения, положение экваториальной плоскости, равно как и симметрия фигуры, сохраняются неизменными. При-

меры этому можно найти в любой серии снимков вращающихся туманностей, как например на табл. XV и XVI. В скромных мелочах повседневной жизни таким примером могут служить хотя бы комки грязи, отбрасываемые вращающимся велосипедным колесом: они всегда держатся в плоскости вращения колеса.

Если бы экваториальная плоскость Солнца действительно являлась плоскостью симметрии солнечной системы, так что строение всей системы по обеим сторонам этой плоскости обнаруживало бы признаки подобия, тогда было бы возможно объяснить происхождение этой системы как результат дробления Солнца под действием его вращения. Между тем экваториальная плоскость Солнца отнюдь не является плоскостью симметрии системы. Планеты в ней не движутся; у большинства из них орбиты лежат в плоскости, образующей с экватором Солнца угол приблизительно в 6—7 градусов. В нашей аналогии с мелочами жизни это означает, что комки грязи летят не в той плоскости, в которой вращается велосипедное колесо.

Гипотеза, по которой планеты произошли при вращательном дроблении Солнца, остается бессильной перед этим фактом, но приливная теория сразу дает ему простое объяснение. Солнце вращается теперь почти так же, как оно вращалось до рождения планет, и положение его экваториальной плоскости сохраняется неизменным. Но плоскость, в которой или вблизи которой движутся планеты (отнюдь не совпадающая с экваториальной плоскостью Солнца), должна очевидно быть той плоскостью, в которой лежала когда-то длинная струя материи, вырванная приливным действием встречной звезды. Таким образом плоскость, в которой движутся теперь внешние планеты, должна хранить нам как бы отпечаток положения той плоскости, в которой обе звезды, Солнце и встречная звезда, — этот второй родитель солнечной планетной семьи, — двигались друг около друга два миллиарда лет

тому назад. Это единственно, чем мы располагаем для отождествления той звезды с какой-либо из звезд на небе; и разумеется, этого слишком недостаточно, чтобы по истечении столь долгого времени мы могли теперь ее найти.

Подводя итоги, мы можем сказать, что нормальный механизм, действием которого была образована большая часть космических формаций во вселенной, состоит в рождении последовательных поколений астрономических тел под влиянием «гравитационной неустойчивости». Нормальная родословная их имеет в общем следующий вид:

хаос — туманности — звезды — двойные системы —
подсистемы. ✓

Однако не все звезды прошли через два последних поколения; там, где имелось лишь незначительное вращение, звезда могла прожить всю свою жизнь без дальнейших дроблений. Примером тому могло бы служить и наше Солнце, если бы не редкая случайность — его тесное сближение с другой звездой. Под влиянием их взаимодействия появились на свет два иных поколения, причем и здесь действующим механизмом явилась гравитационная неустойчивость. У нашей солнечной системы, равно как и у любой подобной ей системы в пространстве, родословная имеет такой вид:

хаос — туманности — Солнце — планеты —
спутники. ✓

В родословных обоих типов имеется по пяти поколений, и каждое из них рождается из предыдущего действием гравитационной неустойчивости; обе они обнимают в сущности все известные нам астрономические тела крупных размеров. Поэтому мы можем по праву считать, что «гравитационная неустойчивость» является тем фактором,

на котором лежит основная ответственность за все главные формы строения вселенной.

Предел Роша. Влияние гравитационной неустойчивости кончается с рождением планетных спутников, так как газообразные тела с еще меньшей массой не могли бы вовсе удержаться как одно целое. Даже при самых благоприятных условиях их слабое притягательное действие не могло бы сохранить за ними их внешние молекулы, так что их масса быстро рассеялась бы в пространстве. Но астрономия знает много примеров тел меньших размеров; мы уже указывали на астероиды, на метеоры или падающие звезды и на частицы кольца Сатурна. Так как в виду незначительности их размеров их происхождение в форме газообразных масс исключается, мы должны предположить, что это осколки от дробления более крупных масс. Это согласуется с тем, что эти малые тела встречаются обычно целыми роями или потоками, но не поодиночке.

Астероиды появляются в виде единого потока. Если бы они были разбросаны по всей солнечной системе, то объяснить их происхождение было бы довольно затруднительно. Но при действительном положении вещей весь этот поток объясняется весьма легко: это осколки раздробившейся первичной планеты. Равным образом и кольца Сатурна находят естественное объяснение как осколки разбившегося прежнего спутника Сатурна. Кометы, о которых нам до сих пор почти совсем не приходилось говорить, представляют по всей вероятности рой мелких тел, взаимное притяжение которых едва достаточно для того, чтобы они могли двигаться по одной общей орбите в пространстве. При появлении кометы Галлея в 1909 г. было найдено, что она отражает столько же солнечного света, как единое тело в 40 км диаметром. Однако ее видимая поверхность была в 300 000 раз больше, чем поверхность такого тела, и комета была совершенно прозрачной. Довольно трудно не прийти отсюда к выводу, что эта

комета состоит из роя широко разбросанных мелких тел; но очевидно, и такой рой допускает естественное объяснение, если в нем видеть осколки некогда единой раздробившейся массы.

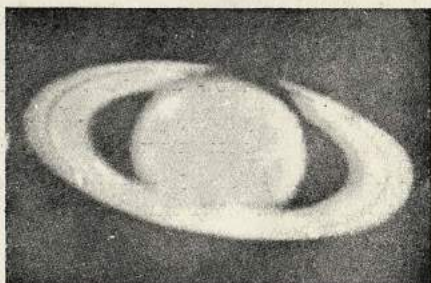
Падающие звезды или метеоры тоже встречаются в виде потоков. Как мы увидим дальше, по движению многих таких потоков оказалось возможным отождествить их с раздробившимися кометами. Таким образом осколки разбившихся комет тождественны с теми метеорами, которые мы наблюдаем как падающие звезды, когда они проникают в земную атмосферу. Шэпли определил, что земная атмосфера должна захватывать ежедневно миллиарды падающих звезд, из которых в лучшем случае одна на сто оказывается достаточно яркой для того, чтобы ее можно было видеть невооруженным глазом. Почти все они испаряются еще до того, как достигают земной поверхности (стр. 215); но иногда метеор оказывается столь крупным, что он не успевает испариться в атмосфере и его осколки падают на землю как твердое тело — метеорит. В каждой падающей звезде и в каждом метеорите мы можем видеть миниатюрную комету, состоящую из одного осколка. В некоторых случаях целая группа таких осколков, движущихся по параллельным путям на незначительных расстояниях друг от друга, может налететь на земную атмосферу и обнаружиться нам под видом «огненного шара» или болида. Вообще говоря, вся меньшая братия солнечной системы движется потоками, и на нее естественно смотреть как на осколки более крупных раздробившихся тел.

Если метеориты действительно являются осколками тел, рожденных из недр Солнца одновременно с планетами, то они должны были отвердеть одновременно с Землей, т. е. по нашему определению два миллиарда лет назад. Но если они были извержены из какой-либо иной звезды, то момент их отвердения может лежать в любой глубине веков, до миллиардов лет тому назад.

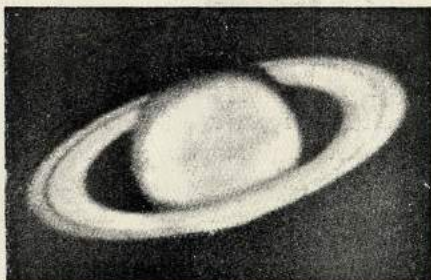
Проф. Панет вместе с двумя сотрудниками в Кенигсберге недавно определил возраст различных метеоритных камней приблизительно теми же способами, которые применяются для установления возраста Земли (стр. 194). Он нашел, что возраст их колеблется от нескольких миллионов до 2,9 миллиардов лет, но выше этого не имеется ничего. Ни один метеорит не дает указаний на возраст порядка биллионов лет. Это служит очень сильным доказательством того, что метеориты являются продуктами той же катастрофы, которой обязана своим происхождением Земля; но вместе с тем оно дает и ценное подтверждение нашим предыдущим определениям возраста Земли.

Объяснить, каким образом крупные тела могли разбиться на рои метеоров, не трудно. Мы предположили, что Солнце раздробилось (по крайней мере в тех пределах, которые соответствуют извержению семейства планет) под влиянием приливов, вызванных действием встречной звезды. Но что произошло бы, если бы эта встречная звезда не прошла мимо, но остановилась около него? Все время, пока она оставалась бы на известном расстоянии от Солнца, ее приливообразующие силы стремились бы разорвать Солнце на части. Очевидно, мы можем представить себе, что более продолжительная встреча с этой звездой вызвала бы еще больший сдвиг материи на Солнце и привела бы к рождению более обширной семьи планет. Наконец, в результате встречи неограниченной продолжительности, Солнце должно было бы разбиться на мелкие части.

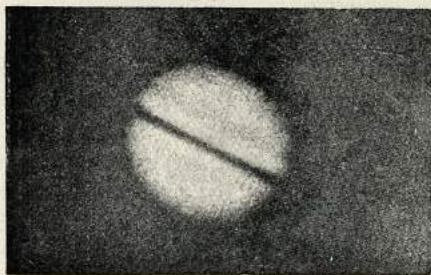
В 1850 году Рош произвел математический анализ подобного «приливного дробления» астрономических тел. Его исследование касалось только твердых и жидких тел; тем не менее основной механизм явления действует одинаково как для жидких и твердых, так и для газообразных масс. Мы уже знаем, что при приливном взаимодействии двух тел меньшее тело страдает сильнее дру-



Сатурн в 1916 г.



Сатурн в 1917 г.



Сатурн в 1917 г.

Лоуэлль-обсерватория.

Сатурн и система его колец.

гого. Рош рассматривал только тот случай, когда одно тело чрезвычайно мало по сравнению со вторым; тогда малое тело дробится окончательно, но большое остается невредимым. Рош исходил из предположения, что малое тело движется по постепенно сжимающейся орбите вокруг массивного тела, и нашел, что в случае равенства плотностей обоих тел дробление малого должно наступить, как только радиус его орбиты окажется равным 2,45 радиусам большого тела. Это расстояние соответственно увеличивается, если плотность малого тела меньше плотности большего.

Это расстояние известно под названием «предела Роша». Спутник может описывать круговую орбиту вокруг главного тела, оставаясь в безопасности только до тех пор, пока его орбита лежит за пределом Роша; но он разобьется вдребезги, как только перейдет за эту границу. В следующих данных можно видеть подтверждение математического анализа Роша:

Радиус внешнего кольца Сатурна	2,30	радиуса Сатурна
Предел Роша	2,45	» главн. тела
Радиус орбиты ближайшего спутника Сатурна	3,11	» Сатурна
» » » » Юпитера	2,54	» Юпитера
» » » » Марса	2,79	» Марса

Эти же данные говорят убедительно в пользу того, что кольца Сатурна являются осколками от дробления его прежнего спутника, рискнувшего зайти в зону опасности, отмеченную пределом Роша. Мы уже знаем, что Луне предстоит с течением времени сжимать ее орбиту, пока она не подойдет в конце концов к Земле на расстояние предела Роша и не разобьется при этом на мелкие части. После этого у Земли не будет уже спутника, но она будет окружена кольцами наподобие Сатурна.

Мы говорим о кольцах Сатурна во множественном числе потому, что две пустые круговые полосы создают впечатление трех отдельных колец. Тут надо остерегаться поспешного заключения, что эти кольца суть

остатки от дробления трех отдельных спутников; дело обстоит иначе. Гольдсбро показал, что некоторые орбиты вокруг Сатурна являются неустойчивыми в силу движения больших спутников Сатурна, так что никакая частица не могла бы двигаться постоянно по одной из таких орбит; он вычислил положения этих неустойчивых орбит, и оказалось, что они в точности соответствуют положениям обоих наблюдаемых делений между кольцами. Таким образом, насколько можно судить, все три кольца Сатурна образовались путем дробления только одного его спутника. Но у того кольца малых спутников, которое в конце концов должно образоваться вокруг Земли в силу дробления Луны, делений не будет вовсе; у Земли нет других спутников, действие которых могло бы вызвать неустойчивость некоторых орбит.

Основное положение Роша может быть развито в различных направлениях и получить разнообразные приложения. Так например и вокруг Солнца должна существовать зона опасности, отмеченная пределом Роша. Размеры зон опасности, окружающих Солнце, зависят от плотности тех тел, для которых они являются опасными (стр. 307). Для тела, обладающего незначительной плотностью кометы, размеры их могут быть очень велики. Но, каковы бы они ни были, кометы должны в отдельных случаях проходить через эти зоны и подвергаться при этом дроблению. Две кометы, именно комета Бьелы в 1846 г. и комета Тэйлора в 1916 году, распались на две части, проходя вблизи Солнца; одна комета в 1882 году разделилась на четыре части. Комета Бьелы возвратилась, как ей надлежало, в 1852 году под видом двух отдельных комет, на расстоянии $2\frac{1}{2}$ миллионов км друг от друга, но с тех пор ни одна из этих частей первичной кометы не наблюдалась вовсе. Орбита этой кометы была отождествлена впоследствии с орбитой метеорного потока Андромедид, который наблюдается при благоприятных условиях в ночь 27 ноября; таким образом можно считать, что эти

падающие звезды являются осколками кометы Бьелы. Имеются и другие замечательные потоки метеоров, движущиеся по кометным путям; так например Леониды, возвращения которых через каждые 33 года сопровождались роскошным явлением звездного дождя, движутся по орбите кометы 1806 I; Персеиды идут по орбите другой кометы (1862 II); наконец Аквариды движутся по орбите знаменитой кометы Галлея. Во всех этих случаях мы не можем сомневаться в том, что падающие звезды являются рассеянными осколками комет. Кроме того известны несколько кометных семейств, члены которых движутся друг за другом, кружась по одной и той же орбите, как если бы первично все они составляли единую массу.

Равным образом и Юпитер окружен соответственным пределом Роша, так что кометы и иные тела, попадающие внутрь зоны, отмеченной этим пределом, могут подвергнуться дроблению. Самый внутренний спутник Юпитера уже находится в опасной близости к этой зоне. Но наибольший ее интерес заключается для нас в том, что его вероятно объясняется существование астероидов. В ранние дни солнечной системы, когда орбиты планет имели форму менее близкую к кругу, чем теперь, планета, находившаяся между Марсом и Юпитером, могла, конечно, двигаться по орбите настолько вытянутой, что с каждым оборотом она вступала внутрь зоны опасности вокруг Юпитера. Но если так, нам нечего искать дальше разгадки существования астероидов; и можно только подчеркнуть, что средняя орбита всех астероидов совпадает почти в точности с орбитой той планеты, которая по закону Бодэ (стр. 30) должна была бы существовать между Марсом и Юпитером.

ГЛАВА ПЯТАЯ.

ЗВЕЗДЫ.

Процессы образования космических форм, которые мы изучали в предыдущей главе, в нормальном случае заканчиваются простой звездой, хотя особенные обстоятельства могут вызвать и иные последствия. В результате тесных сближений между звездами у незначительного числа звезд, примерно у одной на каждые сто тысяч, могла появиться свита планет. Другая часть звезд, все еще незначительная, но гораздо большая предыдущей, повидимому подверглась дроблению в силу чрезмерного вращения, что привело к образованию двойных или, быть может, и кратных систем. Но судьба большинства звезд — двигаться в пространстве, не дробясь на части и не вызывая дробления других звезд. Единственный контакт этих звезд с внешней вселенной заключается в том, что они непрерывно испускают в пространство свое излучение. Но это представляет собой почти полностью односторонний процесс, так как все то излучение, которое звезда может получить от других звезд, совершенно ничтожно по сравнению с тем, которое она отдает сама. Излучение сопровождается потерей вещества, и это есть тоже один пассив без актива. Количество рассеянной материи, которую звезда могла бы захватывать из внешнего пространства, совершенно ничтожно (так же как и все получаемое ею излучение), по сравнению с той массой, которую она сама теряет в процессе излучения. Не сгущая красок особенно сильно, мы можем говорить о нормальном небесном объекте как о теле, совершенно одиноком в безмерном пространстве; оно беспрерывно изливает свое излучение и не получает ничего взамен.

В настоящей главе мы будем изучать последовательность тех перемен, которые, как можно думать, испытывает звезда в течение ее жизни. Разобрав в предыдущем те явления механического порядка, которые могут играть роль в ее судьбе, именно дробление под влиянием вращения и распад под действием встречной звезды, мы переходим теперь к изучению жизни нормальной звезды, которой удастся избежать этих случайностей и которая гаснет в конце концов просто по дряхлости лет.

Нам нужно будет прежде всего описать физическое состояние различных типов наблюдаемых на небе звезд; но предварительно надо пояснить, каким образом из астрономических наблюдений мы почерпаем те данные, которыми непосредственно определяется физическое состояние звезд.

ПОВЕРХНОСТНАЯ ТЕМПЕРАТУРА.

Мы видели в главе II, что с каждым оттенком цвета или с излучением любой длины волны можно сопоставить вполне определенную температуру, именно ту, при которой в теле, нагретом до этой температуры, преобладает соответствующий цвет. Например тело, нагретое до так называемого красного каления, испускает больше красных лучей, чем каких-либо иных, и в силу этого кажется красным нашему глазу.

Поэтому, когда звезда кажется нам красной, мы в праве заключить, что ее поверхность имеет температуру, которую мы называем температурой красного каления. Если другая звезда имеет цвет углей в вольтовой дуге, мы заключаем, что температура ее поверхности приблизительно равна температуре дуги.

Таким путем мы получаем возможность определять температуры поверхностей звезд.

Приемы, которые применяются с этой целью на практике, отнюдь не так грубы, как можно было бы судить по предыдущему. Астроном пропускает лучи, идущие от

звезды, через спектроскоп, разлагая их э́тим на различные цвета. Он определяет затем с помощью точных измерений ту пропорцию, в которой различные цвета входят в свет данной звезды. При э́том сразу обнаруживается, какой цвет наиболее богато представлен в ее спектре.

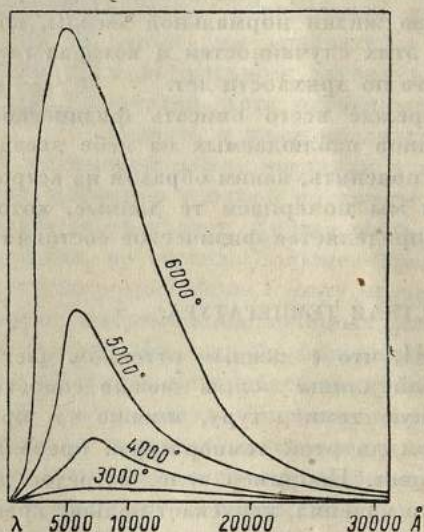


Рис. 15. Распределение излучения различных длин волн при разных температурах (длины волн в ангстремах, $1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ см}$).

3000°, 4000°, 5000° и 6000°. Различные длины волн отмечены точками на горизонтальной оси: за единицу измерения этих длин принята одна стомиллионная (10^{-8}) см, называемая обычно «ангстрем». Высота кривой над каждой точкой горизонтальной оси служит мерой относительной интенсивности излучения соответствующей длины волны.

Отсюда, или же по общему распределению цветов, определяется температура поверхности звезды.

Мы уже знаем, что Планк формулировал закон, по которому происходит распределение излучения замкнутой полости (или от так называемого «полного излучателя») по различным цветам или длинам волн спектра.

На четырех кривых, показанных на рис. 15, изображено теоретическое распределение излучения, испускаемого при температурах в

Оба метода измерения звездных температур будут легко поняты с помощью этих кривых. Например кривая для 6000° достигает своей наибольшей высоты при длине волны в 4800 ангстрем; поэтому, если в спектре какой-либо звезды наиболее интенсивно представлено излучение с длиной волны в 4800 ангстрем, мы заключаем, что температура поверхности этой звезды равна 6000° .

Второй метод состоит просто в подыскании той теоретической кривой (вроде одной из изображенных на рис. 15,) которая ближе всего подходит к наблюдаемой кривой распределения излучения в спектре данной звезды.

Обоими способами найдено, что температура поверхности Солнца около 6000° по абсолютной шкале, т. е. почти вдвое выше температуры наиболее горячих частей вольтовой дуги. Общее количество тепла и света, получаемое Землей от Солнца, показывает, что солнечное излучение соответствует достаточно точно (хотя и не вполне), излучению замкнутой полости при этой температуре.

Это следует также из того, что солнечное излучение распределяется по различным цветам почти в точности по теоретической кривой, построенной для излучения замкнутой полости при температуре в 6000° , показанной на рис. 15.

Температура поверхности звезд может быть определена также и по их спектральному типу. Многие линии в спектре испускаются атомами, у которых один или несколько электронов оторваны под влиянием теплоты в атмосфере звезд. Нам известны те температуры, при которых начинается отрыв электронов у соответствующих атомов; отсюда мы можем определить и температуру звездных атмосфер.

Температуры, соответствующие различным типам звездных спектров, изображенных на табл. VIII, имеют приблизительно следующие значения:

Спектральный тип	Температура
<i>B</i>	23000°
<i>A</i>	11000°
<i>F</i>	7400°
<i>G</i>	6000°
<i>K</i>	5100°
<i>M</i>	3400°

Данные, приведенные в трех последних строках таблицы, относятся только к нормальным звездам, диаметры которых сравнимы с диаметром Солнца. Но мы увидим дальше (стр. 335), что существует еще другой класс звезд, размеры которых в огромное число раз превосходят размеры Солнца; это так называемые гиганты. Температура гигантов, как видно из следующей таблицы, несколько ниже, чем температура нормальных звезд.

Спектральный тип	Температура
<i>G</i>	5 600°
<i>K</i>	4 200°
<i>M</i>	3 200°

При изучении строения звезд и происходящих в них процессов или, как мы будем говорить, механизма звезд, для нас имеет большое значение количество излучения, испускаемого звездой с каждого кв. см ее поверхности,

чем степень нагрева этой поверхности, измеряемая ее температурой.

Разумеется, излучение звезды зависит от температуры: чем горячее поверхность звезды, тем сильнее ее лучеиспускание. Однако количество испускаемого излучения возрастает отнюдь не в той же мере, как температура. Если удвоить температуру поверхности, ее излучение увеличится в 16 раз, а не вдвое; излучение с каждого кв. см поверхности изменяется пропорционально четвертой степени температуры. В силу этого звезда с поверхностной температурой в 3000° , т. е. вдвое меньшей, чем у Солнца, испускает только $1/16$ солнечного излучения с каждого кв. см.[⊙] Но излучение каждой звезды состоит из видимого света, теплоты и ультрафиолетового излучения, и они входят отнюдь не в одинаковой пропорции в излучение различных звезд; чем ниже температура поверхности звезды, тем большую часть ее излучения будет составлять тепловая энергия. Так например звезда с температурой поверхности в 3000° будет излучать с каждого кв. см не $1/16$ видимого солнечного излучения, а гораздо меньше, зато она будет излучать не $1/16$ солнечного тепла, но значительно больше.

Отсюда ясно, что полное излучение звезды не может быть определено по одной ее видимой яркости; для этого нужно всегда вводить существенную поправку за невидимое излучение, притом как за тепловое излучение на красном конце спектра, так и за невидимое ультрафиолетовое излучение на другом его конце. Важность этих поправок обнаруживается на рис. 16. Изображенные на нем четыре кривые тождественны с кривыми рис. 15; они показывают, как распределяется излучение звезды с данной поверхностной температурой по различным длинам волн. Полное излучение, испускаемое при какой-либо температуре, из-

[⊙] Это видно и по рис. 15, так как площадь, ограниченная кривой для 3000° , составляет $1/16$ площади, ограниченной кривой для 6000° .

меряется, очевидно, площадью, ограниченной соответствующей кривой и горизонтальной осью. Наш глаз чувствителен только к излучению с длиной волны от 3750 до 7500 ангстрем, так что для нас видимо только то излучение,

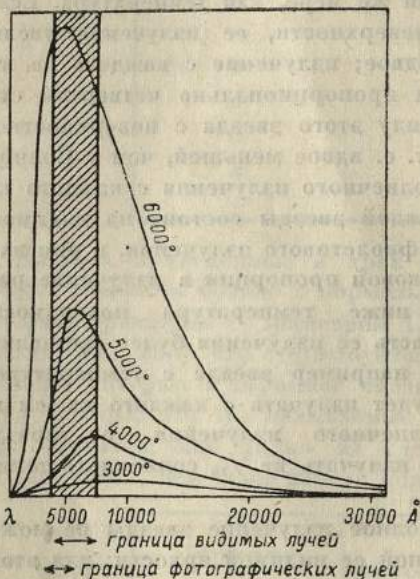


Рис. 16. Границы видимого излучения.

которое приходится внутри заштрихованной полосы; все остальное представляет собой невидимое излучение.

Отсюда становится очевидным, что довольно значительная доля излучения, испускаемого звездой при 6000° , попадает в пределы видимости, между тем как для звезды с температурой поверхности в 3000° это будет лишь очень малая часть. Если взять все звезды в целом, то видимый их свет составляет лишь незначительную часть их полного излучения.

Если бы наши глаза сделались внезапно чувствительными ко всем видам излучения, а не только к свету, видимому нам теперь, то в привычной картине неба произошли бы странные изменения. Красные звезды Бетельгейзе и Антарес, которые сейчас занимают 12-е и 16-е место в порядке яркости, вспыхнули бы как две самые яркие звезды на небе, в то время как Сириус, сейчас самая яркая из всех звезд, отошел бы на третье место. Одна звезда

в слабо выделяющемся созвездии Геркулеса превратилась бы в шестую по яркости звезду на небе: это α Геркулеса; теперь она слабее примерно 250 других звезд. В силу ее крайне низкой температуры в 2650° , эта звезда испускает почти исключительно одни невидимые нам тепловые лучи; она излучает в 60 раз больше тепла, чем голубая звезда η Возничего, температура которой около $20\,000^{\circ}$; но зато она испускает всего лишь $\frac{1}{5}$ ее видимого света.

Поправки за невидимое излучение учтены во всех численных данных, приводимых в этой книге; однако мы не считали нужным оговаривать это каждый раз.

ЗВЕЗДНЫЕ ДИАМЕТРЫ.

Диаметр планеты измеряется без затруднений, потому что планета видна в телескоп как диск определенного размера. Но звезды слишком далеки от нас для того, чтобы их диаметры можно было измерять таким же способом. Ни одна звезда на небе не может иметь большего видимого размера, чем булавочная головка с расстояния в 10 км, и нет еще такого телескопа, в который предмет столь малых размеров был бы виден как диск. Все звезды, даже самые крупные и близкие, видимы нам исключительно как светящиеся точки, так что диаметры их можно измерять лишь окольным путем. [⊙]

В тех случаях, когда расстояние звезды известно, ее действительная сила света может быть определена по ее видимой яркости. Отсюда, внося поправку за невидимое излучение, мы можем вычислить весь поток энергии, изливаемой звездой, скажем — столько-то квадрильонов (10^{24}) лошадиных сил. Но нам известно также и количество энергии, испускаемой с каждого кв. см поверхности звезды, по-

⊙ Те крупные круглые изображения, которые получаются от звезд на фотографиях (см. снимок «открытие Плутона»), объясняются исключительно передержкой снимка и не имеют ничего общего с действительными размерами звезд.

тому что оно зависит только от ее поверхностной температуры, которая получается непосредственно из спектральных наблюдений; имея же величину полного потока энергии, равно как и потока с одного кв. см поверхности, мы найдем простым делением, сколько кв. см составляют поверхность звезды, а отсюда определим немедленно и ее диаметр; повторяем все это — в тех случаях, когда известно расстояние звезды.

Но диаметры звезд исключительно больших размеров могут быть измерены более прямым методом с помощью инструмента, известного под названием интерферометра. Когда звезда приведена в фокус телескопа, мы видим, строго говоря, не одну светящуюся точку, но светящуюся точку, окруженную довольно сложной системой темных и ярких колец, называемых диффракционными кольцами. Можно было бы думать, что размер этих колец определяется размером звезды; но это неверно: между ними нет ничего общего. Кольца появляются просто как инструментальная погрешность, и их величина зависит исключительно от размеров и оптического устройства телескопа. Но, следуя методу, который Физо применял в 1868 году, граф. Майкельсон показал, какую пользу можно извлечь даже из этого дефекта; основываясь на нем, он создал пожалуй самый остроумный и сенсационный инструмент современной астрономии — интерферометр. В этом инструменте две системы диффракционных колец от одной и той же звезды налагаются друг на друга и приводятся в такое относительное положение, при котором оказывается возможным определить размер звезды.⁵² Диаметры неко-

⁵² Интерферометр сконструирован Майкельсоном еще в 1890 г., и уже тогда с помощью его были произведены вполне успешные измерения угловых диаметров спутников Юпитера. Но прошли долгие годы, прежде чем этот инструмент получил то применение, которое составило эпоху в астрономии. Только в 1920 г. Майкельсон вместе с астрономами обсерватории Моунт-Вильсон в Калифорнии установил его на рефлекторе этой обсерватории; и тогда было приступлено к измерению угловых расстояний между весьма тесными

торых звезд из числа самых крупных были измерены этим способом, и мы можем считать, что знаем их размеры по непосредственным наблюдениям. Во всех этих случаях между значениями диаметров, полученными непосредственным измерением и косвенным способом через яркости, как объяснено выше, обнаруживается вполне достаточное, хотя и не абсолютное согласие.

Расхождения не очень значительны и объясняются, как можно думать, тем, что красные звезды не являются в точности полными излучениями в том смысле, как это объяснено на стр. 163.

Метод интерферометра применим только к самым крупным звездам; но на крайнем противоположном конце шкалы, именно для звезд наименьших размеров, приходит на помощь теория относительности. Эйнштейн показал, что необходимым следствием его теории является смеще-

звездными парами (как например спектрально-двойными системами Капелла и Мидар) и к более трудной задаче непосредственного измерения угловых диаметров звезд. В пояснение слов автора нужно заметить, что устройство прибора в самых общих чертах основано на следующем: если вместо всего объектива (или зеркала) оставить действовать только одно небольшое отверстие в нем, то объектив все-таки будет работать, как если бы он был открыт весь, с той разницей, что произойдет увеличение т. н. «диффракционного диска» звезды. Но если перед диафрагмированным объективом оставить еще второе небольшое отверстие, расположенное симметрично по отношению к первому в отношении центра объектива, то на диффракционном диске появится, вообще говоря, система перемежающихся темных и светлых полос; они образуются в силу интерференции в фокальной плоскости обоих световых пучков, проходящих через оба отверстия, оставленные перед объективом. Ширина этих полос обратно-пропорциональна расстоянию между отверстиями, оставленными перед объективом. Теория показывает, что угловой диаметр звезды пропорционален длине волны испускаемого ею света («средняя» длина волны) и обратно пропорционален тому расстоянию между отверстиями, при котором интерференционные полосы на диффракционном диске исчезают, т. е. темные полосы налагаются на светлые и обратно. Таким образом измерение диаметра в сущности сводится к определению этого критического расстояния между отверстиями; это и имеет в виду автор, говоря о приведении обоих изображений в такое относительное положение, при котором оказывается возможным измерить диаметр звезды. *Прим. перев.*

ние звездных спектров к их красному концу, причем величина этого смещения зависит и от массы и от диаметра звезды. Поэтому, если масса звезды известна, ее диаметр немедленно определяется по наблюдаемому смещению спектральных линий. Такое смещение было недавно обнаружено в спектре спутника Сириуса (стр. 325), и измерение этого смещения позволило определить его диаметр; значение его оказалось в полном соответствии с величиной диаметра, найденной через яркости. Таким образом на обоих концах шкалы, для звезд наибольших и наименьших размеров, значения диаметров, выведенные косвенным путем, подтверждаются данными непосредственного наблюдения.

Поэтому мы можем относиться с полным доверием к тем звездным диаметрам, величины которых найдены косвенным путем, хотя бы они и не могли быть проконтролированы прямыми измерениями. И в самом деле, расхождение между действительными и вычисленными диаметрами могло бы получиться только в одном случае. При косвенном определении диаметров звезд через их яркости мы исходим из предположения, что звезды излучают как «полные излучатели». Но если бы звезды были частично прозрачны, как туманности, или если бы они были твердыми телами, как Луна, то наше предположение оказалось бы неверным, и его ошибочность обнаружилась бы в расхождениях между вычисленными и измеренными диаметрами звезд. Поэтому отсутствие значительных расхождений служит здесь доказательством того, что, при всем разнообразии их размеров, все звезды, от самых крупных и до самых малых, излучают почти в точности как полные излучатели.

ТИПЫ ЗВЕЗД.

Из наблюдений известно, что физические свойства звезд меняются в чрезвычайно широких пределах, и мы скоро увидим, что легко повести о них животрепещущий

рассказ, играя на крайностях и контрастах, сопоставляя самое великое с самым малым, самое яркое с самым тусклым и так далее. Однако это дало бы нам довольно неотчетливое представление о населении небес; это было бы то же самое, что судить о каком-либо народе по тем карликам и гигантам, атлетам и скороходам, которых можно увидеть в палатках балагана.

Мы получим гораздо более полное и спокойное впечатление о степени различия между звездами в целом, изучая физические свойства тех звезд, которые находятся в ближайшем соседстве с Солнцем. Если мы будем брать их одну за другой в порядке их расстояний от Солнца, то избегнем всякого подозрения в том, что вводим в наш список звезды только по причине их странных или исключительных свойств. Та небольшая группа звезд, которая составится таким способом, явится, как можно думать, правильной представительницей всей совокупности звезд, хотя, конечно, она не будет настолько велика, чтобы включить в себя возможные крайности. Нам незачем подробно изучать здесь само Солнце, потому что это будет наша стандартная звезда, по отношению к которой производятся все сравнения.

Система α Центавра. Эта система состоит из трех составляющих, которые считаются нашими тремя ближайшими соседками в пространстве.

Самая яркая из них, α Центавра А, во многом подобна Солнцу. У нее тот же цвет, и она относится к тому же спектральному классу, как Солнце; но ее масса на 14%, а яркость на 12% больше, чем у Солнца. Так как цвет ее сходен с цветом Солнца, то она испускает то же самое количество излучения с каждого кв. см поверхности, как и Солнце. Но так как ее яркость на 12% больше солнечной, то и поверхность ее должна быть на 12% больше поверхности Солнца, и следовательно ее диаметр на 6% больше диаметра Солнца.

Вторая составляющая этой системы, α Центавра В,

является звездой значительно более красной, чем Солнце, так как температура ее поверхности всего лишь приблизительно 4400° (против 6000° у Солнца.) Ее масса составляет 97% массы Солнца, но действительная яркость равна приблизительно одной трети его яркости. Но для испускания одной трети солнечного излучения при столь низкой температуре поверхность данной звезды должна превышать поверхность Солнца приблизительно на 50%; поэтому ее диаметр на 22% больше солнечного. Обе эти

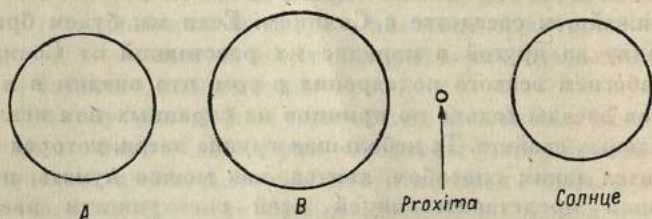


Рис. 17. Тройная система α Центавра и Солнце для сравнения.

звезды, α Центавра А и α Центавра В, образуют вместе визуально-двойную систему; период обращения ее составляющих друг около друга равен 79 годам.

Как мы видим, ни одна из этих составляющих не отличается чрезмерно от Солнца; но третья звезда системы, именно Ближайшая Центавра (Proxima Centauri), обладает совершенно иными свойствами. По цвету это красная звезда, с температурой поверхности порядка 3000° ; она чрезвычайно тусклая, так как испускает всего лишь $\frac{1}{10000}$ солнечного излучения; ее диаметр в 14 раз меньше солнечного; масса ее неизвестна.

Относительные размеры трех звезд этой системы показаны на рис. 17; для сравнения показано и Солнце в том же масштабе.

М ю н х е н 15040. Это слабая одиночная звезда, про которую известно не много. Поверхность ее красная, при

температуре вероятно несколько выше 2500° ; ее излучение приблизительно в 2500 раз слабее солнечного.

Вольф 359. Это самая слабая из всех звезд, светимость которых теперь известна; помимо этого сведений о ней очень мало. Ее цвет красный, она испускает приблизительно $\frac{1}{50000}$ часть солнечного излучения.

Лаланд 21185. Еще одна слабая красная звезда, испускающая $\frac{1}{200}$ часть солнечного излучения.

Система Сириуса. Эта система состоит из двух весьма различных между собою звезд; есть подозрение, что в систему входит еще третья звезда.

Главная звезда системы, Сириус *A* — первая звезда по видимой яркости на всем небе; цвет ее белый; температура около $11\,000^{\circ}$, т. е. почти вдвое больше температуры Солнца; поэтому Сириус *A* испускает с каждого кв. см поверхности приблизительно в 16 раз больше излучения, чем Солнце. Светимость, или сила света, Сириуса приблизительно в 26 раз больше силы света Солнца; по этой причине его диаметр должен быть на 58% больше солнечного и следовательно его объем в четыре раза больше объема Солнца. Но масса Сириуса *A* всего лишь в 2,45 раза больше массы Солнца; поэтому материя в этой звезде сжата не так плотно, как на Солнце. Кубический метр материи на Солнце весит в среднем 1,42 т, на Сириусе *A* он весит всего лишь 0,93 т.

Слабый спутник Сириуса *A*, Сириус *B*, есть одна из интереснейших звезд на небе. У нее почти тот же цвет и она относится почти к тому же спектральному типу, как и Сириус *A*, но ее сила света приблизительно в 10 000 раз слабее, чем у него. Введя поправку за небольшую разность поверхностных температур обеих этих звезд, мы находим, что поверхность Сириуса *B* и его диаметр меньше поверхности и диаметра Сириуса *A* соответственно в 2500 и в 50 раз. Но масса Сириуса *A* только в три раза больше массы Сириуса *B*, хотя объем первого превышает объем второго в 125 000 раз. Поэтому Сириус *B*, но вовсе не

Сириус *A*, является замечательной звездой: средняя плотность материи в Сириусе *B* примерно в 60 000 раз больше плотности воды, иными словами куб. см материи на Сириусе *B* весит около 60 кг. На рис. 18 показаны размеры обеих составляющих системы Сириуса в том же масштабе, как на рис. 17.

B. D. 12° 4523 и *И н н е с 11^h 12^m, 57° .2*. Две звезды, о физическом состоянии которых мы ничего не знаем, за

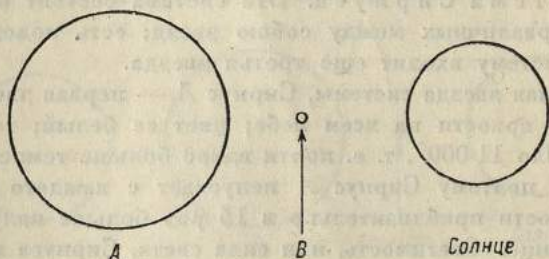


Рис. 18. Система Сириуса и Солнце для сравнения.

исключением того, что они очень слабы и излучают соответственно в 1400 и в 10 000 раз слабее Солнца.

Кордоба *5^h. 343* и *т Кита*. Две слабые звезды, обе красноватого оттенка, с излучением в $\frac{1}{600}$ и в $\frac{1}{3}$ по сравнению с Солнцем.

Система Проциона. Это двойная система, во многих отношениях подобная системе Сириуса. Главная звезда, Процион *A*, в общем того же типа, что и Солнце, но ее масса больше солнечной на 24%, и ее излучение в $5\frac{1}{2}$ раз сильнее излучения Солнца. Температура поверхности около 7000°; ее диаметр в 1,8 раза больше диаметра Солнца.

Спутник главной звезды, Процион *B*, настолько слаб, что о его физическом состоянии нам известно лишь, что он испускает в 30 000 раз меньше излучения, чем Солнце; его масса составляет 39% массы Солнца.

На рис. 19 показаны размеры обеих составляющих системы Прокциона, все в том же масштабе, как и раньше.

Следующими по порядку, по мере удаления от Солнца, в нашу группу входят восемь очень незаметных звезд; все они краснее и слабее Солнца; температура поверхности у них не выше 5000° , и ни одна из них не испускает

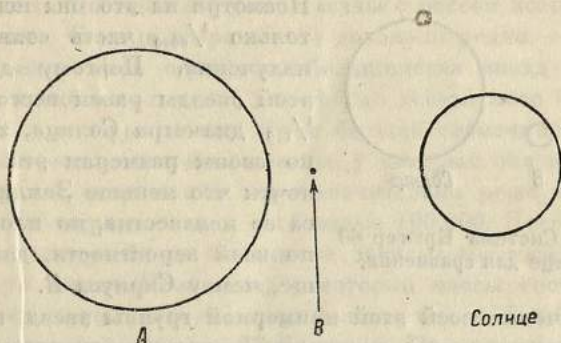


Рис. 19. Система Прокциона и Солнце для сравнения.

больше одной четверти солнечного излучения. За ними идет

Система Крюгер 60. Это двойная система, у которой обе составляющие — малые по размерам и тусклые звезды красного цвета.

Более яркая составляющая, Крюгер 60 А, обладает поверхностной температурой в 3200° и испускает $\frac{1}{400}$ солнечного излучения. Ее диаметр равен $\frac{1}{3}$ солнечного, масса составляет $\frac{1}{4}$ массы Солнца; поэтому плотность материи должна быть здесь приблизительно в семь раз больше, чем на Солнце.

Более слабая составляющая, Крюгер 60 В, имеет приблизительно такую же температуру поверхности, как и первая составляющая этой системы, но она испускает всего лишь $\frac{1}{14600}$ часть солнечного излучения. Диаметр

ее равен $\frac{1}{6}$ диаметра Солнца, а ее масса $\frac{1}{5}$ его массы; таким образом плотность ее приблизительно в 40 раз больше плотности Солнца. Система Крюгер 60 изображена на рис. 20.

Звезда ван-Маанена. Еще одна слабая звезда, с высокой поверхностной температурой порядка 7000° .

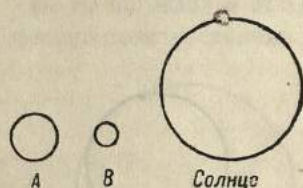


Рис. 20. Система Крюгер 60 и Солнце для сравнения.

Несмотря на это она испускает только $\frac{1}{6000}$ часть солнечного излучения. Поэтому диаметр этой звезды равен всего лишь $\frac{1}{110}$ диаметра Солнца, так что по своим размерам эта звезда почти что меньше Земли! Масса ее неизвестна, но плотность, по всей вероятности, даже выше, чем у Сириуса В.

Изучение всей этой примерной группы звезд, в которую звезды вошли исключительно по признаку их близости к Солнцу, приводит нас к общему выводу, что большинство звезд в пространстве меньше, холоднее и по силе света слабее Солнца. Существуют звезды, которые гораздо ярче Солнца; но это исключения; средняя звезда на небе есть нечто очень вялое и тусклое по сравнению с нашим Солнцем.

Имея перед собой эту показательную группу звезд как образец среднего населения неба, мы можем перейти к систематическому обзору их разнообразных характерных свойств, не опасаясь уже указывать и на крайности. Начнем с их масс.

Массы звезд. Среди всех звезд неба, массы которых могли быть определены, наименее массивными являются слабая составляющая системы Крюгер 60, о которой мы только что говорили, и самая слабая составляющая тройной системы α_2 Эридана; у обеих этих звезд массы равны $\frac{1}{5}$ массы Солнца. Однако нам известны массы столь незначительного числа звезд, что мы вовсе не в праве считать,

что это как раз наименьшие звездные массы во всей вселенной. Общий обзор этого вопроса (стр. 297 и след.) приводит к выводу, что существование звезд с еще меньшей массой отнюдь не исключается; однако представляется вероятным, что только в самых редких случаях массы звезд могут оказаться еще на много меньше только что названных. Повидимому даже звезды с массой всего лишь в $\frac{1}{10}$ массы Солнца встречаются довольно редко.

Значения масс огромного большинства звезд заключены в пределах от одной десятой до десяти масс Солнца. Звезды, у которых масса втрое больше солнечной, представляют редкое явление; звезды, у которых она в десять раз больше, встречаются еще значительно реже и повидимому не чаще, чем одна на каждые 100 000. Несомненно имеются и еще более массивные звезды; мы уже упоминали про звезду Пласкетта, у которой массы составляющих превосходят массу Солнца больше чем в 75 и 63 раза, и про четверную систему 27 Большого Пса, масса которой, по всем данным, в 940 раз больше массы Солнца; но такие примеры весьма необычны. Как общее правило мы можем лишь повторить, что массы звезд имеют промежуточные значения от $\frac{1}{10}$ до 10 солнечных масс, и мы увидим сейчас, что звезды гораздо меньше отличаются по их массам, чем по большинству других физических свойств.

Светимость. Перейдем например к действительной яркости звезд, или к их светимости, для измерения которой мы можем принять за единицу силу света Солнца: она измеряется в гораздо более широких пределах, чем массы. Звезда с наибольшей известной действительной яркостью есть δ Дорадуса, про которую мы уже упоминали; она ярче Солнца в 300 000 раз; самой слабой действительной яркостью обладает звезда Вольф 359, излучение которой в 50 000 раз слабее излучения Солнца. Шкала звездных яркостей — так же как и шкала их масс — распространяется приблизительно одинаково по обе стороны от Солнца, так что Солнце есть, пожалуй, срединная звезда

как в смысле массы, так и в смысле светимости. Она является срединной в том смысле, что лежит примерно на полдороге между обеими крайностями; но мы уже знаем, что имеется гораздо больше звезд, у которых эти характерные признаки, масса и яркость, слабее, чем у Солнца, чем звезд, у которых они выражены сильнее.

По сравнению с очень скромной шкалой звездных масс шкала светимостей огромна: *S* Дорадуса в 15 миллиардов раз ярче, чем Вольф 359. Если *S* Дорадуса — маяк, то Вольф 359 — нечто немного слабее светляка, а Солнце — обыкновенная свеча. Если бы Солнце стало внезапно испускать столько же света, как *S* Дорадуса, то температура Земли и всего, что на ней есть, взлетела бы до 7000° , так что и мы и вся земная твердь исчезли бы в облаке паров. С другой стороны, если бы солнечное излучение видимого света и тепла упало до излучения звезды Вольф 359, то обитатели экваториальных стран нашли бы, что от нового Солнца у них в полдень получается столько же света и тепла, как от камина, находящегося на расстоянии двух километров; мы все замерзли бы накрепко и земная атмосфера окружала бы нас как океан жидкого воздуха. Поскольку нам известно, нет никакой возможности, чтобы Солнце стало внезапно вести себя как *S* Дорадуса; но мы увидим дальше, что возможность его превращения в Вольф 359, пожалуй, не совсем пустые фантазии.

Поверхностная температура и излучение. Мы нашли, что из всех звезд в ближайшем соседстве с Солнцем Сириус обладает самой высокой температурой; она равна примерно $11\,000^{\circ}$, т. е. приблизительно вдвое выше температуры Солнца. Уходя глубже в пространство, мы встретим звезды с еще более высокой поверхностной температурой. Так например, у звезды Пласкетта предполагается температура $28\,000^{\circ}$, хотя надо признать, что элемент значительной неопределенности входит во все оценки очень высоких звездных температур.

Как другая крайность, сравнительно часто встречаются температуры, доходящие до 2500° . Самыми низкими температурами вообще обладают переменные звезды одного особенного типа (долгопериодические переменные), у которых колебания яркости сопровождаются и в значительной мере обуславливаются изменением температуры поверхности звезды. Температура этих звезд в минимуме падает до 1650° , т. е. только немного выше температуры обыкновенного камина. У некоторых звезд этого типа температура изменяется в широком интервале, но она никогда не падает так низко, чтобы звезда сделалась совершенно невидимой. Таким образом имеется некоторая область температур (ниже 2500° приблизительно), которыми звезды, вообще говоря, не обладают; исключение составляют только одни долгопериодические переменные, но и они лишь временами входят в область этих температур. Все это повидимому должно привести к выводу, что число абсолютно темных звезд на небе очень мало. К этому же можно подойти и другим путем. Если бы звезда перестала даже светить совершенно, то ее гравитационные действия все равно раскрыли бы нам ее существование. Хотя мы и не смогли бы открыть этим методом каждую темную звезду в отдельности, но мы были бы в состоянии обнаружить множество их в совокупности: если бы две звезды из каждой трех были темными, у нас вероятно возникло бы подозрение о существовании темных звезд по их влиянию на движение остальных; таким образом общие соображения, основанные на действии тяготения, исключают возможность существования большого числа темных звезд.

По всем имеющимся у нас теперь данным, температуры поверхностей звезд заключены главным образом в интервале от $30\,000^{\circ}$ до 2500° приблизительно, причем нижний предел опускается еще до 1650° для долгопериодических переменных в моменты их температурного минимума.

Если исключить долгопериодические переменные, ука-

занные сейчас предельные температуры находятся в отношении всего лишь 12:1, так что температуры звезд обнаруживают еще больше однородности, чем их яркости или их массы. Однако мы должны помнить, что излучение звезды с кв. см имеет гораздо более важное значение, чем температура ее поверхности, и что отношение в 12:1 для температур влечет за собой отношение приблизительно 20 000:1 для крайних значений излучения; включая же долгопериодические переменные, мы получаем для всей шкалы звездных излучений отношение порядка 110 000:1.

Выражая мощность излучения в лошадиных силах, мы находим, что лучеиспускание Солнца соответствует 8 л. с. на кв. см; у звезды с поверхностной температурой в 1650° оно измеряется 0,054 л. с., между тем у звезды Пласкетта с температурой в $28\,000^{\circ}$ оно составляет приблизительно 4300 л. с. на кв. см. Проще говоря, пять кв. см поверхности этой последней звезды испускают достаточно энергии, чтобы поддерживать движение океанского парохода на полном ходу, час за часом, столетие за столетием. Таким образом мощность излучения различных звезд с кв. см их поверхности перекрывает огромную шкалу мощностей — от огромного парохода до гребца на лодке.

Размеры звезд. Среди звезд, диаметры которых известны, наибольшими размерами обладают следующие четыре:

Звезда	Диаметр по отношению к диаметру Солнца	Диаметр в км
Антарес	450	625 миллионов
α Геркулеса	прибл. 400	550 "
\circ Кита (в максимуме)	300	420 "
Бетельгейзе (средний)	250	250 "

Все эти диаметры измерены непосредственно с помощью интерферометра.

Для того чтобы изобразить о Кита в масштабе наших рис. 17—20, на которых Солнце имеет приблизительно размер двухкопеечной монеты, нужно было бы взять круг с площадью просторной комнаты, между тем как вторая звезда этой системы (так как о Кита есть двойная звезда) вышла бы величиной с песчинку. Мы можем составить себе некоторое представление об огромных размерах указанных здесь звезд, заметив, что у каждой из них диаметр больше земной орбиты; таким образом, если бы Солнце расширилось до размеров любой из них, то мы оказались бы внутри его!

Эти звезды должны быть чрезвычайно разрежены. Так например объем Антареса в 90 миллионов раз больше объема Солнца; поэтому, если бы материя была сжата в нем до такой же плотности, как на Солнце, то его масса была бы в 90 миллионов раз больше массы Солнца. Но в действительности масса Антареса всего лишь от 40 до 50 раз больше солнечной, и разность между этим числом и 90 миллионами происходит в силу разности плотностей Антареса и Солнца.

В среднем тонна вещества занимает на Солнце объем меньший $\frac{3}{4}$ куб. м; на Антаресе она занимает в среднем пожалуй больше места, чем Уайт-Холл в Лондоне. Однако более подробное изучение внутреннего строения звезд обнаруживает, что «средние величины» подобного рода едва ли обладают большой ценностью. Вполне возможно, что в центре Антареса материя сжата почти так же сильно, как в центре Солнца (см. ниже, стр. 352). Своими огромными размерами Антарес главным образом обязан вероятно весьма обширной атмосфере из чрезвычайно разреженного газа; поэтому нет большого смысла брать среднее между плотностью всей его атмосферы и плотностью компактного вещества в центре звезды.

Таинственные объекты, известные под названием пла-

нетарных туманностей (примеры которых показаны на табл. II), нужно рассматривать, пожалуй, как звезды с еще бóльшим диаметром. В центре каждой такой туманности телескоп обнаруживает сравнительно слабую звездочку. Поверхностная температура этих центральных звезд должна быть исключительно высока. Они окружены теми туманными образованиями, которым данные объекты обязаны своим довольно неудачным названием. По всей вероятности это есть просто их атмосфера, еще более обширная, чем та, которой окружены четыре звезды нашего списка.

По определению ван-Маанена, диаметр кольцеобразной туманности в Лире (рис. 2 на табл. II) в 570 раз больше диаметра земной орбиты, т. е. равен приблизительно 170 миллиардам. Однако это туманное вещество отличается от атмосферы обыкновенной звезды тем, что оно почти совершенно прозрачно; мы видим насквозь через слой в 170 миллиардов км кольцеобразной туманности Лиры, между тем как у обыкновенной звезды мы проникаем лишь на несколько десятков или сотен километров вглубь.

Противоположной крайностью в смысле размера является звезда ван-Маанена; по величине она почти равна Земле; можно было бы уместить больше миллиона таких звезд внутри Солнца, не заполнив до конца его объем. Но тем не менее масса этой звезды по всей вероятности сравнима с массой Солнца, а отнюдь не с массой Земли; можно допустить, что ее масса равна примерно одной пятой массы Солнца. Для того чтобы вместить пятую часть материи Солнца в шар объемом в Землю, нужно упаковать тонну материи внутри небольшой вишни, или примерно $\frac{1}{2}$ т в куб. см.

Твердость Земли создает у нас впечатление, что ее атомы сжаты уже достаточно тесно; между тем атомы на звезде ван-Маанена должны быть сжаты еще в 66 000 раз тесней.

Как это может быть? Мы увидим скоро, что на это имеется только один ответ.

Атомы состоят преимущественно из пустоты: мы сравнивали атом углерода с шестью осами, жужжащими на территории Уотерло-Стэшен. Разобьем атом на его составные части и сожмем их так тесно, как это только окажется возможным: вот объяснение сжатия материи в звезде ван-Маанена. Шесть ос могут скитаться по огромному пространству, но это еще не мешает нам запереть их в маленькую коробку.

Гиганты и карлики. Имеется непрерывный ряд звезд, массы которых заключены между указанными выше крайними пределами; то же самое справедливо и в отношении предельных температур (а следовательно и цветов), а также и в отношении размеров звезд.

Оставаясь внутри этих пределов, я конечно могу найти звезду любой массы, или любого цвета, или любых размеров, по вашему заданию. Но это не значит, что вы можете задать мне и массу, и цвет, и размер звезды, и что я примусь разыскивать ее для вас; если у нее окажется верная масса, то цвет может выйти не тот и т. д. Если например вы потребуете красную звезду, то я смогу найти вам или очень тяжелую, или же очень легкую звезду; но требовать от меня звезду со средней массой вам бесполезно: поскольку мы знаем, красных звезд со средними значениями масс просто не существует. То же самое справедливо и в отношении размеров: красных звезд среднего размера не бывает.

Герцшпрунг заметил в 1905 г., что красные звезды резко распадаются на два отдельных класса, для которых характерен либо очень крупный, либо малый размер—на гиганты и на карлики, как он их назвал. Рэссель, продолжая изучение этого вопроса, в 1913 г. подтвердил прежние заключения Герцшпрунга и показал, что разделение на гигантов и карликов имеет место не только для звезд красного цвета, но и для других.

Допустим что у нас имеется несколько лестниц, окрашенных в различные цвета, каждая для звезд своего цвета — красная, оранжевая и т. д. Возьмем все красные

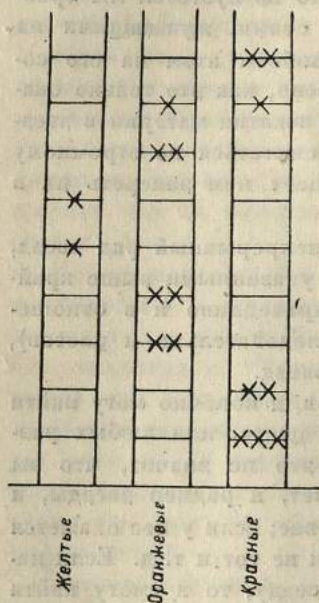


Рис. 21. Распределение звезд различных цветов по их действительной яркости.

но определенная светимость или действительная яркость звезды. ^⑤

Условившись в этом, мы можем действовать дальше. Мы берем красные звезды и помещаем каждую из них на соответствующую ступеньку красной лестницы, и со-

^⑤ По чисто технической причине высота берется пропорциональной не самой светимости звезды, но ее логарифму; без этого было бы невозможно построить на диаграмме шкалу действительных звездных яркостей при отношении их предельных значений порядка 1 000 000 : 1.

ответственно этому для звезд всех других цветов. Результат показан в виде диаграммы на рис. 21; отдельные звезды обозначены тут крестиками.

Распределение красных звезд получается такое, как показано с правой стороны схемы, и деление их на гиганты и карлики, найденное Гертцшпрунгом, обнаруживается с полной ясностью.

Оранжевые звезды располагаются как крестики на соседней лестнице слева; разделение на гиганты и карлики проявляется и у них, как это обнаружил Рассель, но уже несколько менее отчетливо.

Диаграмма Расселя. Построим лестничные диаграммы такого типа для звезд каждого цвета и расположим их рядом в их естественном порядке так, чтобы представить распределение звезд всех возможных цветов. Мы получим диаграмму вроде той, которая показана на рис. 22. Этот тип диаграмм введен в 1913 г. Расселем и обычно известен под названием диаграммы Расселя.

Буквы наверху диаграммы обозначают спектральные классы звезд, потому что это дает лучшую и более точную рабочую классификацию звезд, чем простое обозначение их цветов. Цвета, приблизительно соответствующие различным спектральным классам, обозначены под диаграммой.

На диаграмму рис. 22 нанесено лишь очень немного типичных звезд; но оказывается, что все звезды, для которых нам известны соответствующие признаки, располагаются на ней вблизи этих нескольких типичных звезд. В самых общих чертах можно заметить, что звезды занимают в этой диаграмме две отдельные и несвязанные между собой области. Первая и самая важная для нас область несколько напоминает по своему виду перевернутую букву γ : центральная линия этой области обозначена сплошной жирной линией, следуя определению ее положения, данному Рэдманом. Затем имеется небольшая область в нижнем левом углу диаграммы. Эту область

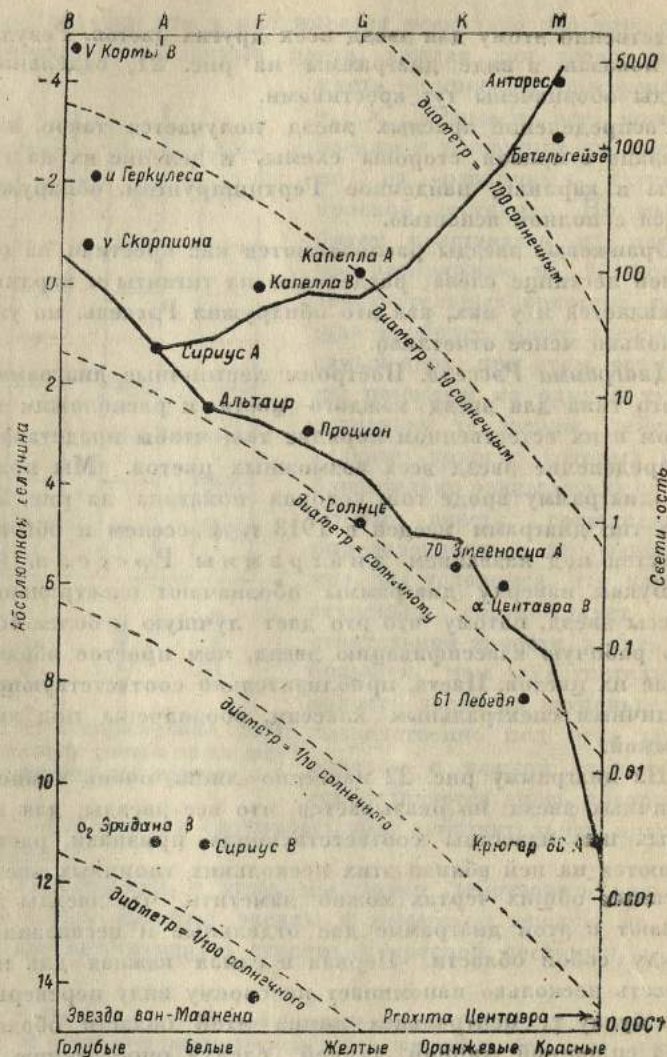


Рис. 22. Диаграмма Расселя. (Зависимость между светимостью и абсолютной величиной пояснена в прим. на стр. 76).

занимают очень слабые звезды, у которых температура поверхности гораздо выше, чем у других звезд с такой же светимостью.

Мы уже знаем, что диаметр звезды определяется по ее поверхностной температуре и по ее светимости. Это равносильно утверждению, что у двух звезд, занимающих одинаковое положение на диаграмме Расселя, должны быть и одинаковые диаметры.

Таким образом каждой точке на этой диаграмме соответствует определенная величина звездного диаметра; мы можем показать на самой диаграмме величины диаметров, пользуясь тем же приемом, который служит для обозначения на географической карте высот точек над уровнем моря, т. е. с помощью системы горизонталей.

В данном случае горизонтали представляют собой систему почти параллельных кривых.

Эти кривые проходят приблизительно так, как показано пунктирными линиями на рис. 22; у всех звезд которые лежат на одной из таких кривых, диаметры будут равные.

Эта диаграмма проливает снопы света на вопрос о звездных диаметрах. Мы сразу видим, что звезды с самыми большими диаметрами, например во сто раз большими солнечного и еще крупнее, должны по необходимости быть красными звездами с большей светимостью. И в самом деле, все звезды с очень крупными диаметрами, приведенные в таблице на стр. 332, суть красные звезды и обладают очень большой силой света; это красные гиганты.

Большинство звезд лежит на диаграмме Расселя в области некоторого пояса, который проходит через всю диаграмму от верхнего левого до нижнего правого угла. Это так называемая главная ветвь. Положение этой полосы по отношению к «горизонталям» диаметров показывает, что звезды главной ветви обладают диаметрами средней величины.

У самых ярких диаметр может быть в двадцать раз больше солнечного, у самых слабых он может быть примерно в двадцать раз меньше, но, так или иначе, все эти диаметры сравнимы с диаметром Солнца. Та показательная группа звезд из ближайших окрестностей Солнца, которую мы уже изучили, включает в себе много звезд из главной ветви. В порядке убывающей светимости мы имеем:

Звезда	Светимость	Диаметр по отношению к диаметру Солнца
Сириус A	26,3	1,58
Процион A	5,5	1,80
α Центавра A	1,12	1,07
Солнце	1,00	1,00
α Центавра B	0,32	1,22
τ Кита	0,32	0,95
ϵ Индейца	0,15	0,82
Крюгер 60 A	0,0026	0,33
Крюгер 60 B	0,0007	0,17
Вольф 359	0,00002	0,03

По этой таблице ясно обнаруживается, что светимость звезд и их диаметры убывают одновременно по мере того, как мы спускаемся по главной ветви.

На рис. 22 имеется еще одна группа звезд, именно звезды в нижнем левом углу диаграммы; они носят название белых карликов. По их положению на диаграмме видно, что диаметры их должны быть чрезвычайно малы. В окрестностях Солнца мы находим три экземпляра звезд этого типа, как показано в следующей таблице:

Звезды	Светимость	Диаметр по отношению к диаметру Солнца
Сириус <i>B</i>	0,0026	0,03
α Эридана <i>B</i>	0,0031	0,018
Звезда ван-Маанена	0,00016	0,009

Помимо этих трех звезд слабый спутник α Кита несомненно представляет собой белого карлика, и вероятно Прозион *B* тоже является таковым. Это единственные известные нам вообще примеры белых карликов. Однако крайняя слабость этих звезд создает большие затруднения к их обнаружению, так что вполне допустимо, что в пространстве белые карлики могут быть довольно частыми объектами.

В таблице на стр. 340 звезды главной ветви были расположены в порядке их убывающих яркостей; но в том же порядке, как оказывается, идет и убывание их масс. Для трех звезд этой таблицы массы неизвестны; у остальных они имеют следующие значения:

Звезда	Светимость	Масса по отношению к массе Солнца
Сириус <i>A</i>	26,3	2,45
Прозион <i>A</i>	5,5	1,24
α Центавра <i>A</i>	1,12	1,14
Солнце	1,00	1,00
α Центавра <i>B</i>	0,32	0,97
Крюгер 60 <i>A</i>	0,0026	0,25
" <i>B</i>	0,0007	0,20

Массы звезд, подобно их светимости, непрерывно уменьшаются по мере того, как мы опускаемся по главной ветви; но, как уже замечено, массы убывают значительно менее быстро, чем светимости.

Единственные звезды, у которых массы могут быть измерены непосредственно, суть составляющие двойных систем; но таких сравнительно немного. Однако Сирс нашел, что массы звезд в двойных системах соответствуют закону равномерного распределения энергии, как было объяснено в III главе; поэтому весьма вероятно, что и другие звезды, не являющиеся двойными, тоже подчиняются этому закону; действительно, было бы трудно объяснить, почему двойные системы должны скорее достичь состояния равномерного распределения энергии, чем остальные звезды. Но, конечно, надо помнить, что это состояние определяется чисто статистическим законом, связывающим массы и скорости движения звезд; поэтому из того обстоятельства, что звездная система достигла подобного состояния, отнюдь нельзя еще определить массу каждой отдельной звезды, скорость движения которой известна; однако, при условии применимости этого закона, можно вывести среднее значение масс для любой группы звезд в зависимости от средних скоростей их движения. Этим путем Сирс определил средние значения масс звезд, обладающих данной светимостью и относящихся к данному спектральному классу, иными словами — средние массы звезд, соответствующих различным точкам диаграммы Рэсселя (рис. 22). Полученные им результаты представлены на рис. 23 в виде сплошных кривых. Общий ход этих кривых подтверждает заключение, уже выведенное нами при изучении нескольких отдельных избранных звезд: массы звезд главной ветви непрерывно убывают по мере того, как мы опускаемся по ней от высоких светимостей к более слабым.

Кривые Сирса характеризуют среднюю величину звездных масс для каждой точки диаграммы Рэсселя; но

диаметры звезд нам уже известны; величины их даны на рис. 22. По этим двум данным можно, конечно, вычислить среднюю плотность звезд. Эти средние плотности показаны пунктирными кривыми на рис. 23, согласно определениям Сирса.

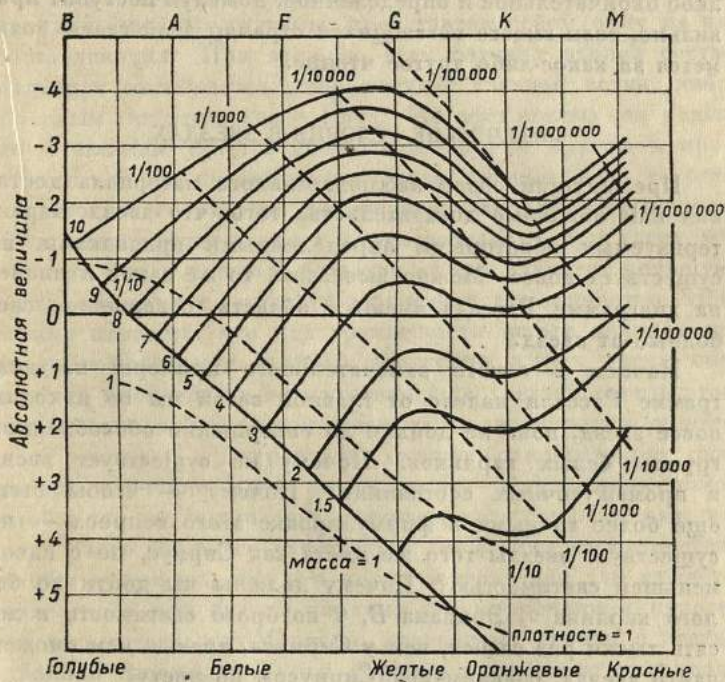


Рис. 23. Массы и плотности звезд на диаграмме Рэсселя (см. рис. 22) по Сирсу.

Полученные результаты расширяют и пополняют совокупность данных непосредственного наблюдения. Теперь мы перейдем к гораздо более трудной задаче — объяснить, что все это должно означать. Здесь мы покидаем твердую почву установленных фактов и вступаем как бы в туманные области предположений, гипотез и умозрений.

Вопросы, к которым мы обращаемся, принадлежат к числу самых интересных во всей астрономии; но надо признать, что до сих пор наука дала на них только плачевно недостаточный ответ. Читатель, который спешит узнать что-либо окончательное и определенное, пожалуй поступит правильно, если вместо остающихся страниц этой главы возьмется за какое-либо другое чтение.

ФИЗИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ В ЗВЕЗДАХ.

Предыдущий обзор наблюдательного материала доставил нам обильные доказательства того, что звезд, характеризующихся некоторыми определенными признаками, не существует вовсе. Можно высказать то же самое и иначе: на диаграмме Рэсселя имеются области, совершенно свободные от звезд.

Начнем с самого замечательного примера: на диаграмме Рэсселя налево от главной ветви мы не находим вовсе звезд, пока не дойдем до совершенно обособленной группы белых карликов. Почему не существует звезд в промежуточных состояниях? Почему — чтобы быть еще более точными в формулировке этого вопроса — не существует звезд того же цвета как Сириус, но с вдвое меньшей светимостью? Почему должны мы дойти до белого карлика α_2 Эридана *B*, у которого светимость в десять тысяч раз слабее, чем у Сириуса, прежде чем сможем найти звезду, сравнимую с Сириусом по цвету?

В ответ на это нетрудно, конечно, выдвинуть гипотезу о том, что звезды главной ветви и белые карлики могут составлять две отдельные группы звезд потому, что они имеют совершенно различный возраст; между появлением тех и других могли бы пройти миллиарды лет. Исходя из того, что у стареющих звезд падают и масса и светимость, было бы естественно искать объяснения малых масс и исключительно слабых светимостей белых карликов в том, что они по возрасту значительно старше

нормальных звезд главной ветви. Однако такая гипотеза представляется нам неприемлемой.

За единственным исключением звезды ван-Маанена, все те звезды, которые заведомо являются белыми карликами или даже лишь предположительно считаются таковыми, входят в двойные системы, представляя собой одну из их составляющих. При этом во всех случаях вторая составляющая оказывается либо звездой главной ветви, либо красным гигантом, как α Кита. Мы уже знаем, как редко двум звездам удастся сблизиться друг с другом в пространстве. Но невообразимо редки должны быть те случаи, когда две звезды, движущиеся как два независимых тела, встречаются в своих странствованиях при таких условиях, в силу которых бóльшая из них захватит меньшую и они обе начнут двигаться в пространстве совместно. Ибо можно показать, что для возможности такого явления отнюдь не достаточно тесного сближения двух звезд; оно должно произойти в присутствии еще третьей звезды, так что по меньшей мере три звезды в их движении по обширным пустотам пространства должны одновременно оказаться случайно друг около друга. Почти невысказимо, чтобы все это могло осуществиться хотя бы один раз; но надо было бы вовсе отрешиться от логики вероятностей, чтобы допустить, что это могло повториться для каждого известного нам белого карлика (за исключением одного, именно звезды ван-Маанена, которая не входит в состав двойной системы). Таким образом мы должны предположить, что и белые карлики и их более нормальные спутники должны были быть вместе с самого их рождения и следовательно что они родились одновременно из одной и той же туманности.

Таким образом различие между белыми карликами и звездами главной ветви не может сводиться к одной лишь разнице их возраста; поэтому возникает представление, что какая-то физическая причина борется против возможности существования звезд в промежуточных состояниях.

Подходя к этому вопросу с более общей точки зрения, мы ставим себе задачей выяснить, не может ли отсутствие звезд, построенных по определенным схемам, происходить оттого, что для этого звезды должны обладать такими свойствами, которыми природа не в состоянии их наделять. Но это приводит нас непосредственно к проблеме строения звезд.

ВНУТРЕННЕЕ СТРОЕНИЕ ЗВЕЗД.

Значительная часть исследований, касающихся проблемы строения звезд, исходит из предположения, что звезды состоят целиком из газообразного вещества. Не принимая этого предположения за окончательную истину, мы можем признать его на время, хотя бы по той причине, что оно открывает наиболее удобные пути подхода к чрезвычайно трудной проблеме.

Одна математическая теорема, обычно называемая теоремой Пуанкаре, оказывается исключительно важной при изучении внутреннего состояния газообразной звезды. Мы помним, как Гельмгольд предполагал, что энергия солнечного излучения может возникать за счет сжатия Солнца; по мере его сокращения каждый слой спадает на ближайший внутренний слой и преобразует энергию, освобождаемую при его падении, в тепло и в свет. Не трудно вычислить количество энергии, освобождающейся при подобном сокращении. Так например Кельвин нашел, что сокращение Солнца, при сжатии его от бесконечных размеров до настоящей величины его диаметра (1,4 миллиона км), должно было бы освободить приблизительно столько же энергии, сколько Солнце излучает теперь в 50 миллионов лет. Переводя это в эрги, мы находим, что сокращение солнца должно было освободить 6×10^{48} эргов энергии.

Теорема Пуанкаре устанавливает, что полная энергия движения всех молекул какой бы то ни было газообразной звезды равна в точности половине той полной энер-

гии, которую звезда освободила бы в том случае, если бы она сократилась от бесконечных размеров до ее настоящей величины. Эта теорема применима совершенно независимо от того, произошло ли когда-нибудь подобное сокращение звезды или нет; единственно, что здесь существенно, это действительное состояние звезды в настоящем.

Отсюда вытекает интересное следствие: чем сильнее сокращается газообразная звезда, тем она становится горячее; если звезда сократится до половины ее настоящего размера, то полная энергия, освобожденная при ее сокращении от бесконечных размеров, удвоится; поэтому удвоится и полная энергия движения ее молекул, а следовательно удвоится и средняя температура звезды. Это представляет собой частный случай так называемых законов Лэна. [Ⓢ]

Продолжим теперь наши вычисления применительно к Солнцу. По теореме Пуанкаре, если Солнце является газообразной звездой, то полная энергия движения всех его молекул равна половине энергии, приведенной выше по данным Кельвина, т. е. 3×10^{48} эргов. Чтобы идти дальше нам надо знать, сколько молекул имеется в Солнце. Масса Солнца равна 2×10^{33} г; но сколько молекул приходится на 1 г? Ответ зависит, конечно, от типа тех молекул, о которых идет речь. В грамме водорода имеется 3×10^{23} молекул, в грамме воздуха их 2×10^{22} , а в грамме урана их всего $2,5 \times 10^{21}$.

Если мы предположим, что Солнце состоит из воздуха, то оно должно заключать в себе 4×10^{55} молекул,

[Ⓢ] Законы Хомера Лэна (1870) гласят, что сферическая масса газа, находящегося в равновесии при определенном распределении внутри ее давлений, плотностей и температур, может сжиматься или расширяться, не выходя из состояния равновесия, причем при каждом элементе вещества, составляющем эту массу, давление будет изменяться как $1/r^4$, плотность как $1/r^3$ и температура как $1/r$, где r есть расстояние этого элемента от центра массы при ее различных конфигурациях. *Прим. перев.*

так что энергия движения каждой молекулы должна равняться $7,5 \times 10^{-8}$ эрг; но это соответствует средней температуре внутри всего объема Солнца в 375 миллионов градусов. В 1907 г. Эмден, применяя иной метод вычисления, нашел, что если бы Солнце состояло из воздуха, то температура в его центре была бы порядка 455 миллионов градусов. Отсюда, и не входя вовсе в детали, мы заключаем, что внутренняя температура Солнца, состоящего из воздуха, должна была бы измеряться сотнями миллионов градусов.

Однако в нашем расчете повидимому есть какая-то ошибка: простое вычисление, вроде того, которое мы объяснили на стр. 181, обнаруживает, что при столь высоких температурах кванты излучения имели бы достаточно энергии не только для того, чтобы разбить все молекулы воздуха на атомы, но и для того, чтобы оторвать у атомов все или почти все их электроны. Что при таких температурах каждая молекула распалась бы на составляющие ее ядра и электроны, это так же несомненно, как и то, что кусок льда в жаркий день распадается на составляющие его молекулы. Те электрические силы, которые при более спокойной обстановке стали бы соединять электроны и ядра сперва в атомы, а затем в полные молекулы, оказались бы здесь бессильными перед беспрестанным градом быстро летящих снарядов и дробящими ударами квант с высокой энергией; это было бы то же самое, что строить карточный домик под ураганом. Солнце, состоящее из молекул воздуха, оказывается противоречием и невозможностью; наша гипотеза разбилась в этих следствиях и нам нужно начинать сначала.

Мы можем начать, где нам будет угодно, но заключение, к которому мы придем в конце концов, будет всегда одно и то же, а именно: независимо от того, из каких молекул построено Солнце, температура в его центре будет такова, что эти молекулы должны полностью или почти полностью распасться на составляющие их ядра

и электроны. То же самое справедливо и в отношении всякой другой звезды, и это вносит огромное упрощение в проблему внутреннего строения звезд. Мы не можем сказать, сколько полных молекул приходится на один грамм, не зная, о каких собственно молекулах идет речь; но стоит только допустить, что эти молекулы расщеплены на их составные части, и тогда сразу выясняется, какое число всех этих составных частей, именно ядер и электронов, пойдет на один грамм. Ибо, как мы знаем, атомные веса всех элементов, кроме водорода, приблизительно вдвое больше их атомных чисел (стр. 147). Поэтому, как впервые указал Эддингтон, общее число электронов и ядер во вполне расщепленном атоме всякого элемента (кроме водорода) должно быть равно приблизительно половине атомного веса данного атома. Но по видимому мы можем не считаться с возможностью существования звезд, состоящих преимущественно из водорода. Если это так, то общее число частиц в грамме вполне расщепленного атома звездного вещества должно быть равно приблизительно 3×10^{23} , независимо от рода тех молекул, из которых эти частицы произошли. Таким образом, если молекулы звезды расщеплены на их составные частицы под действием теплоты, то общее число всех частиц внутри звезды становится известным; но тогда уже не представляет труда вычислить температуру звезды либо по теореме Пуанкарэ, либо иным путем. Температура будет такая же, как если бы звезда состояла из нераспавшихся молекул водорода.

Эмден вычислил в 1907 г., что при этих условиях центральная температура Солнца получается порядка $31\frac{1}{2}$ миллионов градусов. Позднейшие и более уточненные вычисления Эддингтона привели почти к совершенно такой же температуре; однако, по некоторым моим собственным, еще более поздним вычислениям, она выходит значительно выше, именно порядка 55 миллионов градусов. Нам нет необходимости разбирать сейчас, какое из

этих определений ближе к истине. Из их расхождений видно, как велика мера неточности, свойственной всем вычислениям подобного рода.

Не трудно уяснить себе физическую неизбежность столь высоких температур. Теплота, истекающая с поверхности Солнца, должна быть предварительно доставлена к ней изнутри. Но тепло течет только от более горячих к более холодным местам, и мощный тепловой поток является доказательством крутого температурного градиента. Температура должна резко подниматься при переходе от поверхности Солнца к его центру, и этот подъем, продолжаясь на 69 700 км до центра, должен привести здесь к действительно чрезвычайно высоким температурам.

Выведенные нами центральные температуры, порядка от 30 до 60 миллионов градусов, уходят настолько далеко за пределы нашего опыта, что трудно представить себе ясно, что они должны означать. Нагреем — в воображении — один кубический миллиметр обыкновенного вещества, т. е. кусок его объемом с булавочную головку, до температуры в 50 миллионов градусов, иными словами — приблизительно до температуры в центре Солнца. Как это ни покажется невероятным, только для того, чтобы поддерживать эту булавочную головку при такой температуре, т. е. для того, чтобы пополнять энергию, которую она теряет излучением с шести ее граней, потребуется вся энергия, вырабатываемая машиной в три тысячи биллионов (3×10^{15}) л. с. Эта булавочная головка будет испускать достаточно тепла, чтобы убить всякого, кто решится приблизиться к ней на полторы тысячи километров.

Как ни высока эта температура, мы знаем из теории, что она все еще будет недостаточна, чтобы вызвать полный распад звездных молекул. Она оторвет у атомов все электроны вплоть до их колец K (стр. 174), но эти последние останутся нетронутыми. Нужны еще более высокие температуры, чем те, о которых мы говорим сейчас, чтобы оторвать кольцо K -электронов от ядра атома. Это спра-

ведливо для всего того интервала температур, приблизительно от 30 до 60 миллионов градусов, внутри которого повидимому должна лежать температура Солнца, и это справедливо почти независимо от атомного веса или от атомных чисел тех атомов, из которых по нашему предположению Солнце может состоять.

Таким образом, если Солнце есть чисто газообразная звезда, то его центральные части должны состоять из атомов, у которых электроны оторваны вплоть до кольца K , но не дальше, и сверх того из тех оторванных электронов, которые первично составляли у атомов их кольца L , M и т. д.; все эти частицы летают независимо друг от друга, подобно молекулам газа, и вся эта среда находится при температуре, лежащей где-то между 30 и 60 миллионами градусов. По мере приближения к внешней поверхности мы приходим к менее высоким температурам, при которых распад атомов не заходит так далеко. Наконец вблизи солнечной поверхности мы можем уже встретить вполне сформированные атомы, у которых недостает, пожалуй, только одного или двух внешних электронов. На поверхности самых холодных звезд мы имеем даже полные молекулы, как например молекулы окиси титана (TiO_2) или водородистого магния (MgH_2), которые обнаруживаются в спектрах красных звезд.

Исследуя таким же образом внутреннее строение других звезд, мы найдем, что центральная температура у всех звезд главной ветви почти такая же, как у Солнца. Это отнюдь не является их единственным общим свойством. По рис. 23, на котором показаны средние плотности звезд по данным Сирса, видно, что средние плотности звезд главной ветви приблизительно равны, не касаясь лишь сравнительно небольших отступлений на обоих ее концах.

Средняя плотность Солнца равна 1,4 и это означает, что один куб. метр на Солнце содержит в среднем 1,4 г материи. В центре Солнца плотность приблизительно в 100 раз больше, так что один куб. метр содержит здесь

около 140 т материи. Упомянем для сравнения, что один куб. м свинца весит всего 11 т. Если бы все звезды были построены по той же самой схеме, как Солнце, то у любых двух звезд с одинаковой средней плотностью была бы и одинаковая плотность в центре. Но у звезд, масса которых в несколько раз больше солнечной, начинает играть роль еще одно новое явление: это лучистое давление — то давление, которое оказывает всякое излучение в силу того, что и оно несет с собой массу. У большинства звезд это давление незначительно по сравнению с давлением, которое вызывается бомбардировкой материальными атомами и электронами; однако у очень массивных звезд оно оказывается достаточно сильным, чтобы иметь влияние на их строение. Этому давлению обязаны своими огромными размерами те очень массивные звезды, диаметры которых приведены на стр. 332. Как общее следствие возмущающего действия лучистого давления получается, что масса очень массивных звезд гораздо сильнее концентрируется в области их центра, чем у легких звезд; поэтому, если у двух звезд, у тяжелой и у легкой, средняя плотность одинакова, то у первой плотность в центре будет значительно выше, чем у второй. Если учесть влияние этого возмущающего действия давления лучистой энергии, то у всех звезд в верхней части главной ветви плотность в центральных областях оказывается приблизительно одинаковой; она равна примерно плотности в центре Солнца, которую мы можем определить в 140 т на куб. м. Но мы уже знаем, что в центральных частях этих звезд господствует приблизительно такая же температура, как в центре Солнца; отсюда следует, что физические условия у всех этих звезд в основных чертах тождественны между собой. Так, у атомов в центральных частях всех этих звезд должны быть оторваны те же самые электроны, как и у атомов в центральных областях Солнца. Электроны кольца *K* должны еще оставаться нетронутыми, но внеш-

ние кольца превращены в рои свободных электронов, летающих по всем направлениям, подобно независимым молекулам газа.

Мы можем считать с достаточной для нас здесь точностью, что все звезды главной ветви, исключая быть может лишь звезды на ее крайнем нижнем конце, находятся в одинаковых физических условиях. По этой причине главная ветвь представляет собой великолепный базис, исходя из которого мы можем предпринять обзор всей диаграммы Расселя по отношению к физическим свойствам, господствующим внутри звезд.

По рис. 22 видно, что у звезд, лежащих направо от главной ветви, диаметры больше, чем у звезд главной ветви, имеющих одинаковую с ними массу. Поэтому энергия, которая освободилась бы при сокращении этих звезд от бесконечности до их настоящих размеров, меньше, а следовательно меньше и энергия молекулярных движений (по теореме Пуанкаре). Отсюда получается, что внутренняя температура этих звезд ниже, чем у звезд главной ветви, и что расщепление их атомов не зашло так далеко. Центральные температуры красных гигантов вроде Антареса имеют, как оказывается, порядок всего лишь от одного до пяти миллионов градусов; их атомы удерживают при себе электроны не только кольца K , но также и кольца L и, по крайней мере частично, кольца M .

Налево от главной ветви мы вступаем в область диаграммы Расселя, в которой звезды, если бы они находились тут вообще, имели бы еще меньший размер, чем у звезд главной ветви, и потому обладали бы еще более высокой температурой; их атомы были бы расщеплены еще более основательно; но в действительности мы не встречаем здесь никаких звезд, пока не дойдем до группы белых карликов. Теория показывает, что центральные температуры у этих звезд должны быть по меньшей мере порядка сотен миллионов градусов, так

что у их атомов электроны должны быть оторваны вплоть до самых ядер. Исключая незначительное число атомов, которым удалось избежать этой общей судьбы, звездная материя должна состоять здесь из ядер, оборванных совершенно наголо, и из свободных электронов, которые летают внутри звезды как независимые частицы. Высокие плотности этих звезд служат убедительным доказательством правильности этих выводов. Средняя плотность Сириуса *B* несомненно выше 50 000, у звезды ван-Маанена она вероятно выше 300 000. Не существует никакой иной возможности сжать материю до такой плотности, как только путем отрыва у атомов всех электронов, вплоть до самого ядра. Те выводы, к которым привело нас изучение диаграммы Рэсселя, поскольку в ней отображаются физические свойства звезд, могут быть окончательно сформулированы следующим образом: мы представляем себе прежде всего две отдельные группы звезд; первую составляют белые карлики, т. е. звезды, у которых все электроны оторваны от атомов; во вторую, так называемую главную ветвь, входят звезды, у которых атомные ядра все еще окружены электронами кольца *K*, между тем как внешние кольца электронов у них оторваны. Приблизительно на середине главной последовательности от нее отходит побочная ветвь, приводящая к красным гигантам, как показано на рис. 22.

По мере продвижения по этой ветви внутренние температуры звезд падают, так что атомы расщеплены у них менее сильно, чем у звезд главной ветви. На крайнем конце этой ветви, у красных гигантов, могут оставаться нетронутыми даже и электроны в кольце *M*.

ГИПОТЕЗА РЭССЕЛЯ.

Для объяснения такого распределения звезд на диаграмме Рэсселя были предложены две совершенно различные гипотезы. В 1925 г. Рэссель выступил с теорией,

отправным моментом которой являлось почти полное равенство центральных температур у звезд главной ветви. Для упрощения вообразим на минуту, будто бы установлено окончательно, что температура в центре всех звезд в точности одинакова и равна, скажем, 32 миллионам градусов. Если бы таково было действительное положение вещей, то было бы естественно предположить, что все звезды снабжены некоторым контролирующим механизмом, так что всякий раз, как температура их падает ниже 32 миллионов градусов, этот механизм вступает в действие и поднимает температуру в точности до этой высоты; если же температура подымается еще выше, механизм снова вступает в действие и понижает ее. Такие контролирующие механизмы имеют, как известно, частое применение в инженерной практике: таковы например предохранительные клапаны, которые всегда держат на одном уровне давление в котле, или регулятор Уатта, действием которого ход двигателя удерживается на одной и той же скорости, или термостат, которым сохраняется постоянная температура в данном помещении.

Но нам уже известен механизм для подъема температуры в центре звезды. Если звезда вовсе не генерирует энергии, — будь то в силу прекращения уничтожения массы или по какой-либо иной причине, — то испускание излучения должно повлечь за собой сокращение звезды; но это, как мы видели (стр. 347), влечет за собой повышение ее температуры. Поэтому легко держать температуру центра звезды на 32 миллионах градусов; для этого нужно только устроить так, чтобы не происходило генерации энергии, пока температура в центре держится ниже 32 миллионов градусов; в этом и состоит главная гипотеза, на которой построена теория Расселя. В ней предполагается, что материя вовсе не генерирует энергии, пока ее температура ниже 32 миллионов градусов, но что, как только эта температура достигнута, начинается уни-

чтожение звездного вещества в количестве, достаточном для поддержания излучения звезды.

Загруднение, к которому приводит эта теория, состоит в том, что здесь повидимому невозможно регулировать температуру звезд с другого конца. Звезда, у которой центральная температура ниже 32 миллионов градусов, должна сокращаться без генерации тепла. Но это сокращение не остановится на мертвой точке в тот момент, когда эта критическая температура будет достигнута; по инерции оно будет продолжаться далее, пока центральная температура не сделается значительно выше 32 миллионов градусов. Но когда температура в центре звезды будет уже на много выше 32 миллионов градусов, то в обширных областях звезды она может оказаться равной 32 миллионам градусов, если не выше. Уничтожение всей массы, которая окажется теперь при этой сверхкритической температуре, должно вызвать избыток теплоты, который поднимет температуру звезды еще выше; но это повлечет все большее и большее уничтожение массы, пока наконец вся звезда не исчезнет во взблеске излучения. В самом деле, по теории Рэсселя материя при температуре в 32 миллиона градусов находится в таком же состоянии, как порох при точке вспышки: математический анализ показывает, что звезда с центральной температурой в 32 миллиона градусов находится в том же состоянии, как боченок пороха с искрой внутри его!

Эддингтон указал пути к спасению устойчивости звезд: он предложил считать, что между моментом, когда достигается температура, необходимая для уничтожения массы, и тем моментом, когда действительно начнется ее уничтожение, происходит некоторая задержка. Однако до сих пор еще не доказано, чтобы такое средство могло быть действительным; но если бы оно и могло им быть, все равно остаются еще другие затруднения. Так как нормальные звезды расположены по главной ветви, Рэссель предположил, что нормальное вещество обладает свойством

самоуничтожения при температуре около 32 миллионов градусов; эта температура, по предположению, является одинаковой центральной температурой всех звезд главной ветви. Но в силу этого пришлось вводить специальные гипотезы для объяснения возможности излучения у белых карликов и у звезд на побочной ветви красных гигантов, у которых центральная температура существенно отлична от 32 миллионов градусов. Соответственно этому Рассель полагал, что такие звезды содержат вещество иных типов, которое растворяется в излучение при температурах как выше, так и ниже 32 миллионов градусов. Допустим, что таким путем удалось бы обойти затруднения с устойчивостью; однако вся эта цепь допущений является настолько искусственной, что при всем интересе этой теории мне кажется невозможным остановиться на ней окончательно.

Изучение тех затруднений, с которыми сталкивается теория Расселя, побудило меня предпринять общее математическое исследование вопроса о звездной устойчивости; при этом мною было найдено простое и несколько неожиданное обоснование непонятого никак иначе распределения звезд в диаграмме Расселя; вкратце оно сводится к тому, что пустые области на этой диаграмме соответствуют звездам в неустойчивом состоянии. Мне неизвестно, как велико число астрономов, признающих это объяснение; иные, мнение коих мне ценно, с ним несогласны. Я не думаю, чтобы многое из того, что до сих пор изложено в этой книге, могло встретить серьезные возражения со стороны компетентных критиков; но справедливость требует отметить, что с этого момента мы вступаем на спорную почву.

ГИПОТЕЗА ЖИДКИХ ЗВЕЗД.

Начнем с того, что вообразим себе огромное число звезд, построенных по всевозможным схемам и моделям из самого разнообразного вещества. Математический анализ

приводит к выводу, что некоторые из этих звезд окажутся не в состоянии светить ровным, постоянным светом по одной из следующих причин (или даже по обоим вместе): или они могут взорваться подобно боченку с подогреваемым порохом, или же они могут проявить как бы врожденную склонность к беспредельному сокращению или расширению. Попадет ли звезда в первую ловушку или нет, зависит главным образом от того, из какого вещества она сделана; удастся ли ей избежать вторую — это вопрос схемы или модели, по которой она построена. Обе эти ловушки нельзя считать совершенно обособленными; изучая устойчивость чисто газообразных звезд с чрезвычайно большой массой, мы находим, что эти западни по обоим сторонам пути почти сливаются в одну, оставляя только узкую область безопасности между ними. Однако мы знаем, что звезды с чрезвычайно большой массой существуют и продолжают сиять постоянным светом. Таким образом, если только эти звезды являются чисто газообразными, они должны находиться в узкой полоске между обеими ловушками; но отсюда мы можем узнать, каким должно быть для этого их строение, равно как и свойства того вещества, из которого они состоят.

Но оказывается, что эти звезды могли бы избежать обеих ловушек только в том случае, если бы их вещество обладало свойствами, которые представляются нам совершенно невероятными, как противоречащие всему, с чем мы встречаемся на опыте и что мы знаем из физики. Коротко говоря, для того чтобы такая звезда могла оставаться устойчивой, уничтожение вещества должно происходить в ней со скоростью, зависящей от температуры. Такое свойство повидимому полностью противоречит основным положениям физики, о которых мы говорили в главе II, и всем нашим сведениям об атомных явлениях. Уничтожение вещества есть гораздо более мощный процесс, чем простой радиоактивный распад; в нем участвуют кванты с гораздо более высокой энергией; но так как

уже и радиоактивный распад не зависит нисколько от изменений температуры, то едва ли возможно, чтобы от них зависело уничтожение вещества, во всяком случае пока мы не дойдем до температуры порядка 2,2 биллиона градусов, как показано в таблице на стр. 182. ²

Однако нам уже встретились указания на то, что звезды не являются чисто газообразными телами; так, чисто газообразные массы не могли бы образовать тесных двойных пар вроде тех, которые мы наблюдаем как спектрально-двойные звезды (стр. 278); такие системы могут быть образованы только из массы, которая по своим свойствам соответствует скорее жидкости, чем газу; конечно, эта масса отнюдь не должна находиться в чисто жидком состоянии; необходимо лишь, чтобы у нее имели место значительные отклонения от газообразного состояния, во всяком случае в ее центральных областях. Еще некоторые доказательства в этом направлении будут приведены ниже, см. стр. 371—373.

Как только мы допустим, что внутренние части звезд не должны находиться целиком в газообразном состоянии, все положение вещей изменяется; действительно, даже слабое отклонение от газообразного состояния сообщает звезде, как оказывается, значительную дополнительную устойчивость. Если звезда с большой массой имеет чисто газообразное строение, то область безопасности между обеими ловушками сводится, как мы видели, к узкой полоске, так что только попадая в эту полоску, звезда может спастись от ожидающих ее судеб: взорваться или разрушиться. Но если центр звезды находится в жидком или отчасти жидком состоянии, то полоса безопасности становится настолько широкой, что звездный материал, в соответствии с условиями устойчивости, может обладать как раз теми свойствами, которые мы могли бы а priori от

² Это является еще одним возражением против гипотезы Расселя, о котором, в целях связности изложения, мы не упоминали выше.

него ожидать, именно, что его уничтожение происходит с одинаковой интенсивностью при всех температурах, подобно радиоактивному распаду. Если звездное вещество обладает этим свойством, звезда не может подвергнуться опасности взрыва, так как масса урана или радия не взрывается, что бы мы с ней ни делали; математический анализ показывает, что если центр звезды находится в жидком или отчасти жидком состоянии, то она не стоит и перед опасностью разрушиться: жидкий центр представляет собой столь прочный фундамент для всей звезды, что возможность подобной катастрофы исключается. Все эти соображения приводят нас к формулировке двух гипотез:

✓ 1. Уничтожение звездного материала происходит самопроизвольно и не зависит от температуры звезды.

2. Центральные области звезды не находятся в чисто газообразном состоянии; атомы, ядра и электроны сжаты здесь так тесно, что они не могут двигаться свободно, ✓ пролетая одни мимо других, как в газе; вернее, они толкуются здесь друг около друга, подобно молекулам жидкости.

Если мы были правы, относя наблюдаемое проникающее излучение в земной атмосфере (стр. 186 и след.) за счет уничтожения вещества в отдаленных астрономических телах, то первая гипотеза этим подтверждается. Ибо это излучение не могло бы сохранить ту значительную проникающую силу, которая у него наблюдается, если бы оно прошло уже сквозь большие толщи материи; у всякого излучения, по мере того как оно с борьбою пробивает свой путь через материю, увеличивается длина волны (кванты становятся все время слабее); поэтому его проникающая сила падает. Таким образом, где бы ни зародилось проникающее излучение, оно должно было бы выйти в пустое пространство без большой борьбы, а это равносильно утверждению, что оно должно было возникнуть в материи при сравнительно низких температурах. Поэтому самое

существование проникающего излучения показывает, что масса может уничтожаться в больших количествах при довольно низких температурах; таким образом (и вопреки теории Расселя) высокие температуры во внутренних областях звезд вовсе не являются необходимыми для уничтожения их масс.

Простое вычисление обнаруживает, что вещество Земли не может подвергаться сколько-нибудь заметному уничтожению. На Солнце в одну минуту уничтожается приблизительно один атом на 10^{10} , но если бы на Земле уничтожалось даже в 10 000 раз меньше атомов, то и тогда поверхность ее была бы слишком горяча для возможности жизни человека. Однако здесь мы не в праве уже ссылаться на то, что Солнце горячо, а Земля холодна, и что поэтому уничтожение массы происходит на Солнце, но не на Земле. Нам нужно скорее допустить, что атомы на Солнце отличны от атомов на Земле; первые уничтожаются произвольно, вторые — нет, или во всяком случае не уничтожаются во сколько-нибудь заметных количествах.

Вторая гипотеза, именно наше утверждение, что центральные области звезды подобны скорее жидкости, чем газу, является, как мы видели, необходимым следствием первой, т. е. предположения, что темп уничтожения массы не зависит от температуры и плотностей; однако независимым подтверждением ее служат явления образования двойных систем при дроблении звезд. Ибо мы показали в IV главе, что звезда может подвергнуться дроблению только в том случае, если у нее жидкий или почти жидкий центр.

УСТОЙЧИВОСТЬ СТРУКТУРЫ ЗВЕЗД.

Мы будем исходить здесь из только что высказанного предположения и допустим, что генерация энергии в звездах происходит самопроизвольно, подобно распаду радиоактивных элементов. Те атомы, которым звезды обязаны

своим теплом и светом, являются для нас как бы сверх-радиоактивными атомами; они уничтожаются самопроизвольно и этим превращают свое вещество в излучение.

Мы уже знаем, что при таком понимании механизма генерации звездной энергии, звезда может длительно испускать непрерывный поток излучения только в том случае, если ее центральные области не находятся в чисто газообразном состоянии. Звезда, построенная на фундаменте из сильно сжимающегося газа, обречена на такую же судьбу, как дом, выстроенный на песке: она рушится. Чисто газообразная звезда есть динамически неустойчивое образование; она должна непрерывно сокращаться до тех пор, пока атомы в ее центральных областях не будут сжаты настолько тесно, что их состояние уже не будет соответствовать газообразному. Тогда и только тогда звезде обеспечена возможность существовать неизменно в виде устойчивого образования. Таким образом центральные области всякой неизменно существующей звезды, например Солнца, должны находиться в состоянии, которое мы в праве для краткости называть жидким.

Допустим теперь, что Солнце расширилось бы в десять раз по сравнению с его действительными размерами. При этом его плотность уменьшилась бы в тысячу раз по сравнению с ее настоящим значением. Действительное Солнце на 40% плотнее воды, но у расширенного Солнца плотность будет такая же, как у атмосферного воздуха. Атомы и электроны, разойдясь на удесятенные расстояния, окажутся так далеки друг от друга, что на новое Солнце мы должны смотреть как на тело чисто газообразное. Таким образом оно оказалось бы динамически неустойчивым и не могло бы остаться в своем газообразном состоянии.

Но наше воображаемое расширенное Солнце, конечно, не осталось бы звездой главной ветви на диаграмме Рэсселя. Расширяя Солнце в десять раз сравнительно с его настоящими размерами, мы отводим его с главной ветви в область совершенно свободную от звезд — в тот боль-

шой залив, который имеется на диаграмме между красными гигантами и красными карликами (рис. 22, стр. 338). Таким образом оказывается, что если мы даже намеренно поместим звезду в эту область, она не останется в ней, но немедленно начнет сжиматься, пока не попадет снова на главную ветвь. Не заключается ли в этом объяснение того, что данная область свободна от звезд?

Теперь допустим, что Солнце сократилось в десять раз сравнительно с его настоящей величиной, так что все его атомы и электроны оказались бы ровно в десять раз ближе друг к другу. По этой причине средняя плотность Солнца увеличится от 1,4 до 1400 по отношению к воде, а его центральная плотность возрастет от 140 до 140 000. Но здесь вы можете остановить меня и указать, что если Солнце уже и так находится в жидком состоянии, то оно не может быть сжато столь значительно; плотность жидкости, вообще говоря, немислимо увеличить в тысячу раз. Но мы уже знаем, что при уменьшении диаметра звезды вдвое температура ее во всем объеме удваивается. Подобно этому, сокращая диаметр звезды до одной его десятой, мы увеличиваем температуру в десять раз, так что центральная температура возрастет, скажем от 50 до 500 миллионов градусов. Но при такой температуре атомы едва ли могут существовать как таковые, — звездное вещество должно состоять почти исключительно из свободных электронов и оголенных ядер. Но эти частицы так малы, что увеличение плотности Солнца от 1,4 до 1400 (по отношению к воде) оказывается вполне возможным; оно приводит Солнце в состояние, которое мы можем лучше всего определить как газообразное. Но тогда наше новое Солнце опять окажется динамически неустойчивым. На диаграмме Рэсселя оно было бы представлено точкой значительно левее главной ветви, приблизительно в середине незаселенной области между главной ветвью и белыми карликами; но, поскольку оно неустойчиво, оно не может удерживать за собой и этого положения. Мы видим,

что звезда, искусственно помещенная и в эту область, не может оставаться в ней. И снова возникает вопрос: не в том ли причина пустоты этой области на диаграмме, что она соответствует неустойчивым состояниям звезд?

Здесь вы можете еще раз остановить меня. Если мне удалось довести до конца все предыдущее рассуждение, то это только с помощью подъема температуры, которым сопровождается сжатие звезды. Но в первом случае, когда мы пользовались представлением о расширенном Солнце, разве мы не должны были учесть падения температуры, которым сопровождается его расширение? Ответ гласит, что это нужно было сделать, но что это ни к чему бы не привело. Как следствие падения температуры, некоторое количество электронных колец L , возможно даже и колец M , реконструировалось бы снова, так что атомы оказались бы теперь больших размеров; но все же они не потеряли бы свободы своих движений в достаточной мере для того, чтобы Солнце могло превратиться в устойчивую звезду. Однако, если бы мы изучали здесь звезду с массой от 10 до 50 раз больше солнечной, то условия оказались бы иными; можно показать, что вторичное образование колец K и L привело бы в этом случае к созданию устойчивых конфигураций. И в самом деле, на диаграмме Рэсселя имеется побочная ветвь, которая служит убежищем именно для таких звезд.

Вся эта проблема слишком сложна для того, чтобы ее можно было удовлетворительно разобрать в столь отрывочных рассуждениях; надлежащее исследование ее требует очень сложного математического анализа. Этот анализ показывает, что диаграмма Рэсселя может быть разделена на области, соответствующие устойчивым и неустойчивым конфигурациям подобно тому, как это показано на рис. 24.

Неустойчивые области отмечены на чертеже; остающиеся области соответствуют устойчивым состояниям. Точки, образующие как бы фон диаграммы, представляют

собой 2100 звезд, действительная яркость которых известна по спектроскопическим определениям их параллаксов (стр. 75) на обсерватории Моунт-Вильсон. Этот материал нельзя считать вполне совершенным, так как

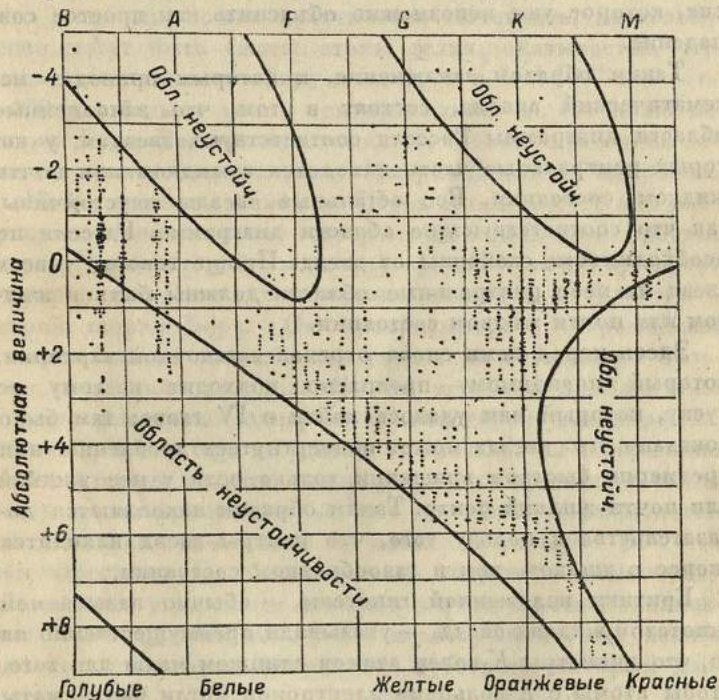


Рис. 24. Области устойчивых и неустойчивых состояний звезд на диаграмме Расселя.

определение спектроскопических параллаксов звезд типа В сопряжено с значительной неточностью; звезды типа А почти вовсе не представлены, так как получить их параллаксы этим способом в сущности невозможно. Теоретические кривые вероятно еще менее безупречны; однако и в том виде, как они есть, они повидимому убедительно го-

ворят за то, что области заполненные и пустые совпадают с теми, которые соответствуют устойчивым и неустойчивым состояниям; учитывая даже все несовершенство и теории и наблюдений, мы должны отметить здесь такое согласие, которое уже невозможно объяснить как простое совпадение.

Таким образом заключения, к которым приводит математический анализ, состоит в том, что заполненные области диаграммы Рэсселя соответствуют звездам, у которых центральные части находятся в жидком или почти жидком состоянии. Все остальные звезды неустойчивы, так что соответствующие области диаграммы Рэсселя по необходимости свободны от звезд. Проще говоря, у всех звезд на небе центральные области должны быть в жидком или почти жидком состоянии.

Здесь перед нами снова отрезок загадочной картинки, который повидимому прекрасно подходит к тому ее куску, который нам удалось найти в IV главе; там было показано, что звезда может подвергнуться дроблению при чрезмерно быстром вращении только если у нее жидкий или почти жидкий центр. Таким образом накапливаются доказательства в пользу того, что центры звезд находятся скорее в жидком, чем в газообразном состоянии.

Критики изложенной гипотезы, — обычно называемой гипотезой жидких звезд, — указывали преимущественно на то, что диаметры K -колец атомов слишком малы для того, чтобы атомы с K -кольцами электронов могли быть сжаты в центральных областях Солнца настолько тесно, чтобы получилось заметное отступление от газообразного состояния. Но довольно трудно обсуждать эти возражения, и тем более трудно отвечать на них, не зная в точности размеров колец K . Конечно, нам известен размер диаметров колец K по теории Бора (стр. 169), но никто уже больше не утверждает, что эта теория правильно отображает строение атома. Она может служить, до некоторых пределов, хорошей рабочей моделью атома, но мы не знаем, где соб-

ственно лежит этот предел. Наши экспериментальные возможности в отношении атомов с K -кольцами электронов ограничиваются атомами гелия; по теории Бора радиус их равен $0,54 \times 10^{-8}$ см. Однако на примерах жидкого и твердого гелия мы можем практически вычислить, насколько тесно могут быть сжаты атомы гелия; оказывается, что здесь атом занимает сферу диаметром в 4×10^{-8} см. т. е. в 400 раз больше места, чем приходится на его долю по теории Бора. Все это похоже на то, что мы еще очень далеки от точного определения размеров K -колец электронов.

Новая волновая механика Шредингера рисует нам внутреннее строение атома совершенно иначе, чем простая теория Бора, которой она теперь приходит на смену. Даже электрон есть нечто совершенно отличное от электрона старой теории Бора. Он превращается в старомодный электрон только тогда, когда уходит на бесконечно большое расстояние от ядра. Но по мере его приближения к ядру электрон подвергается некоторой метаморфозе, которой никому еще не удавалось описать: мы совершенно не в состоянии сказать, какую форму он принимает тогда, когда с ним происходит то, что по старой терминологии мы называем «движением по орбите K -кольца». Все, что нам известно о K -орбитах, есть их энергия, и повидимому невозможно утверждать что-либо о пространстве, занимаемом такой орбитой, пока у нас не получится более ясного представления о свойствах того субстрата, который движется по ней.

Конечно, нам приходится признать, что физические доводы, каковы бы они ни были теперь, указывают повидимому на то, что кольца K электронов существенно меньше, чем было бы желательно для гипотезы жидких звезд. Но мне лично представляется, что астрономические доводы тут более вески и более надежны и что они ведут нас в противоположном направлении. Однако здесь мы должны расстаться с загадочной картинкой, пока не будет найдено большее число ее частей.

Раз нам неизвестно, из каких атомов состоит данная звезда, мы не можем вычислить, до каких пределов пойдут их расщепление под действием температуры внутри этой звезды. В силу этого теоретические кривые, ограничивающие области неустойчивости на диаграмме Рэсселя, могут быть вычислены только при определенных допущениях относительно атомных чисел звездных атомов.

Кривые, показанные на рис. 24, были получены для атомного числа порядка 95, следовательно несколько выше, чем атомное число урана, т. е. 92. Такое атомное число было выбрано потому, что оно приводит к наилучшему согласию между теорией и наблюдениями; однако мы увидим, что и другие соображения оправдывают наш выбор.

СТРОЕНИЕ ЗВЕЗД.

Звезда представляет собой, подобно дому или подобно куче песку, строение, которое рушилось бы под его собственной тяжестью, если бы каждый ее слой не находил опору против действия силы тяготения в том давлении, которое оказывает на него ближайший нижний слой звезды. Это давление не вызывается толчками полных молекул, как в случае обычного газового давления; оно происходит отчасти от ударов некоторого числа атомов, у которых электроны оторваны почти вплоть до самых ядер, в гораздо же большей степени от толчков града свободных электронов. В массивных звездах некоторое добавочное давление вызывается еще напором излучения, которое, как мы знаем, несет с собою массу и тем самым оказывает давление на всякое препятствие на его пути. Совместное действие ударов свободных электронов и атомов (или же обнаженных ядер), а также и излучения, не позволяет звезде разрушиться под действием ее собственного тяготения. Это дает нам достаточно приемлемый моментальный снимок устройства звезд.

Чтобы составить себе соответственное представление о протекающих в них процессах, иными словами — о механизме звезд, можно считать ядра за α -частицы, свободные электроны — за частицы β , а излучение — за γ -лучи (хотя у большинства звезд главная масса излучения имеет длину волны рентгеновых лучей). Все они пробивают себе путь через звезду, причем, совершенно как в лабораторных опытах, β -лучи обладают большей проникающей силой, чем α -лучи, а γ -лучи проникают еще дальше, чем те и другие.

Перенос тепла в звезде. Мы уже знаем, что теплота газа есть не что иное, как энергия его молекулярных движений. Изучая теплопроводность газа, обычно рассматривают каждую молекулу как носителя энергии; когда две молекулы сталкиваются друг с другом, энергия обеих соударяющихся молекул перераспределяется между ними, и таким образом теплота передается от более горячих к более холодным областям газа. Каждая молекула дает при этом некоторый эффект переноса тепла; этот эффект пропорционален как ее энергии движения, так и скорости этого движения и «свободному пробегу», т. е. расcетсанию, которое молекула проходит между двумя столкновениями.

Внутри звезды действуют носители энергии трех различных типов: это атомы (или обнаженные ядра), свободные электроны и излучение. Мы можем сравнить их эффекты в отношении переноса тепла, перемножив для каждого из них энергию на скорость и на свободный пробег. При этом свободный пробег излучения может быть принят равным тому расстоянию, которое оно проходит, прежде чем 37% его не будет поглощено; действительно, можно показать, что это есть то среднее расстояние, на которое излучение переносит свою энергию. Произведя все эти умножения, мы обнаружим, что эффект переноса, даваемый электронами и ядрами, совершенно незначителен по сравнению с эффектом излучения. На долю ядер и электронов приходится большие количества подлежащей переносу

энергии; но вследствие их меньшей проникающей силы, расстояние, на которое они переносят ее, иными словами—их свободный пробег, гораздо меньше, чем у излучения. Точно так же, у них меньше и скорость переноса, так как излучение несет свою энергию со скоростью света. Таким образом получается, что практически весь перенос энергии из внутренних частей звезды к ее поверхности происходит при посредстве излучения.

Это общее излучение было впервые ясно высказано Сэмпсоном в 1894 г. Сэмпсон показал также, что температура любой малой области во внутренних частях звезды должна быть определена из условия, что эта область получает столько же излучения, сколько она испускает сама. Однако практическое применение этого принципа не привело к существенным результатам, потому что Сэмпсон исходил из неверного закона излучения.

Через двенадцать лет Шварцшильд независимо от него формулировал те же мысли и облек их в математическую форму «уравнений лучистого равновесия», которые явились основой всех последующих исследований в этой области.

Именно из того, что излучение оставляет далеко за собой атомы и электроны в смысле эффекта переноса энергии из внутренних частей звезды к ее поверхности, следует, что устройство звезды должно определяться степенью непрозрачности материи во внутренних областях звезды. Если непрозрачность изменяется, то меняется и тот эффект переноса, которым обладает излучение, и это влияет на все строение звезды. Звезда, у которой внутренние части были бы совершенно прозрачны, вовсе не могла бы удерживать своей теплоты; температура ее внутренних частей была бы весьма низкой, и звезда расширилась бы до огромных размеров. С другой стороны в очень непрозрачной звезде энергия скоплялась бы у тех самых мест, где происходит ее генерация; внутренние части такой звезды были бы чрезвычайно горячи, а диа-

метр ее соответственно очень мал. Конечно, практически важными представляются только средние случаи; однако те крайние примеры, которые только что нами приведены, показывают, в какой мере строение звезды обусловлено степенью непрозрачности ее вещества.

К несчастью, мы лишены возможности получить каким-либо способом непосредственное определение непрозрачности звездной материи. Мы не можем даже измерить непрозрачность земного вещества при звездных условиях, так как внутренние части звезд раскалены до температур, несравненно более высоких, чем доступные нам в лабораториях. Но мы знаем, что непрозрачность звездной материи обуславливается тем, что атомы, ядра и электроны, из которых она состоит, задерживают излучение в его движении к наружным слоям звезды; и хотя мы не можем получить образец звездной материи, тем не менее мы знаем довольно определенно, сколько атомов, ядер и электронов может заключаться в таком образце. В силу этого определение его непрозрачности является задачей теоретического вычисления.

Такое вычисление было произведено в 1923 г. д-ром Крамерсом в Копенгагене; его результаты являются теперь общепризнанными. Недавно Гаунт в Кембридже подверг эту проблему гораздо более тонкому анализу и пришел к результатам, весьма близким к тем, которые были первоначально получены Крамерсом. Поскольку их можно подвергнуть лабораторному испытанию, они хорошо сходятся с наблюдениями. И несмотря на то, что между условиями в лаборатории и на звезде имеется весьма широкий пробел, довольно трудно представить себе, почему собственно формула Крамерса могла бы оказаться ошибочной для звезд.

Исходя из этой формулы, мы можем определить строение звезды со всей требуемой полнотой; или иначе, предполагая строение звезды известным, мы найдем по формуле Крамерса скорость переноса энергии звезды к ее по-

верхности (эта скорость зависит исключительно от непрозрачности звездного вещества); но этим в свою очередь определится, какова должна быть интенсивность генерации энергии внутри звезды для того, чтобы она могла находиться в равновесии при заданной конфигурации. Как и можно предвидеть, для конфигураций различных размеров требуется различная интенсивность генерации энергии. Выходит, что звезда необходимо должна приспосабливать свои размеры соответственно интенсивности генерации в ней энергии; но этим самым, помимо ее диаметра, вполне определяются и ее поверхностная температура, ее цвет и спектральный тип. Если бы мера генерации энергии в звезде внезапно изменилась, звезда должна была бы расшириться или сократиться, пока ее размеры и ее температура не пришли бы в соответствие с новым темпом генерации энергии.

Подробный анализ обнаруживает, что у чисто газообразных звезд большие диаметры соответствуют слабой генерации энергии и обратно. Поэтому, если бы звезды были вполне газообразны, красные гиганты обладали бы меньшей действительной яркостью, чем звезды главной ветви с той же массой. Но диаграмма Сирса на стр. 343 показывает, что в действительности имеет место обратное, так как красные гиганты испускают от 10 до 20 раз больше излучения, чем звезды главной ветви с одинаковой массой. Это является еще одним доказательством того, что звезды не могут быть чисто газообразными телами; однако в пользу его можно привести и более веские соображения. Для чисто газообразных звезд сплошные линии на диаграмме Сирса были бы прямыми, поднимающимися к левому верхнему углу диаграммы. Но здесь необходимо подчеркнуть значительное несоответствие между системой таких наклонных прямых с кривыми, имеющимися на рис. 23; оно указывает на степень несоответствия условий, в которых находится звездная материя, свойствам чисто газообразного состояния.

Согласно теории Крамерса непрозрачность материи зависит от атомных чисел и атомных весов тех атомов, из которых она состоит; при этом большой комок материи, в виде например массивного атомного ядра, оказывается гораздо более действительным в смысле поглощения излучения, чем большое число малых комков с той же общей массой. Повседневный опыт убеждает нас в том, что это именно так. По этой причине физики и врачи пользуются свинцом для экранирования рентгеновских приборов; они находят, что тонна свинца гораздо сильнее задерживает нежелательные рентгеновы лучи, чем тонна дерева или железа. Если нам заданы сила рентгеновского прибора и вес того экранирующего вещества, которым он окружен, то имеется возможность получить удовлетворительное определение атомного веса этого вещества; для этого необходимо лишь измерить количество рентгеновского излучения, которое прошло через него наружу.

Совершенно такой же метод можно применить и для определения атомных весов тех атомов, из которых состоят звезды. Действительно, звезда есть не что иное, как огромный рентгеновский прибор. Нам известны массы многих звезд, а интенсивность генерации в них рентгеновых лучей есть просто интенсивность, с которой они излучают энергию в пространство. Если бы мы могли разрезать каждое атомное ядро в звезде пополам, мы уменьшили бы ее непрозрачность вдвое, так что излучение распространялось бы в ней до его поглощения на удвоенное расстояние. По этой причине вполне газообразная звезда должна была бы расшириться; ее диаметр увеличился бы в четыре раза, а ее поверхностная температура упала бы вдвое. Отсюда следует, что мы можем вычислить атомный вес атомов, из которых состоит данная звезда, по ее массе, действительной яркости и поверхностной температуре.

Атомные веса, которые я вычислил для атомов многих звезд в предположении, что они являются совершенно

газообразными, оказались во всех случаях выше атомного веса урана (как известно — самого тяжелого из всех элементов, имеющих на Земле). Однако они оказались при этом столь огромными, что все это решение пришлось считать совершенно неправдоподобным. И снова мы можем объяснить это тем, что звезды не являются чисто газообразными телами. Но стоит только допустить, что они частично жидкие, как вычисленные атомные веса падают чрезвычайно резко. Правда, их нельзя определить теперь с полной точностью, но во всяком случае атомное число порядка 95, к которому привело нас изучение диаграммы Ресселя, находится повидимому в хорошем согласии со всеми известными фактами.

Помимо этого, еще иные соображения говорят за то, что атомные числа звездных атомов выше, чем 92. Рассуждая *a priori*, звездное излучение может возникать либо в такой же материи, какая нам известна на Земле, либо в материи каких-то иных, неизвестных нам типов и форм. Но раз только мы согласились в том, что ни высокая температура, ни плотность не могут иметь какого бы то ни было влияния на ускорение генерации излучения обыкновенной материей, то становится очевидным, что звездное излучение не может зарождаться в материи того же типа, как известная нам на Земле. Должны существовать, очевидно, еще иные типы материи; но так как, за двумя исключениями, все атомные числа (вплоть до 92) уже заняты земными элементами, то представляется вероятным, что эти иные типы должны быть элементами с более высоким атомным весом, чем уран.

Конечно, не приходится ожидать, чтобы эти сверхтяжелые атомы обнаружили свое присутствие в звездных спектрах, ибо звездные спектры дают нам указания лишь на состав звездных атмосфер. Но так как в верхние слои атмосфер всплывают легкие атомы, то именно они и обнаруживают себя главным образом в этих спектрах. Если бы при рождении планет солнечная атмосфера содержала

сверхтяжелые атомы в более или менее значительном количестве, часть их должна была бы существовать еще и до сих пор в Земле. Но их не может быть много, так как они проявились бы своей интенсивной генерацией энергии.

Самое простое объяснение их отсутствия на Земле состоит в том, что более тяжелые атомы погружаются в центральные области звезд и что Земля была образована преимущественно или даже полностью из тех легких атомов, которые всплыли на поверхность Солнца при ее рождении.

ЗВЕЗДНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ.

Мы предположили, что звезды произошли первично, как сгущения во внешних кольцах спиральной туманности. Эти сгущения, смотря по условиям их образования, могли быть самых разнообразных размеров, подчиняясь лишь тому условию, что ни у одного из них масса не могла быть меньше некоторой определенной величины. Таким образом мы не имеем оснований ожидать, чтобы все звезды обладали одинаковыми размерами или одинаковыми массами, или же находились в одинаковых физических условиях, ни при рождении, ни в их последующей жизни. Начиная свое бытие, звезды находятся в условиях, соответствующих различным точкам диаграммы Расселя; при этом мы можем допустить, что их начальные положения сосредоточены лишь в тех частях этой диаграммы, которые только и могут быть заняты звездами, — либо в силу того, что они единственно и соответствуют устойчивым конфигурациям (как того требует гипотеза жидких звезд), либо по каким-то другим причинам, до сих пор нами еще не раскрытым. С каждым годом звезда теряет некоторое количество своего вещества, и в силу этого интенсивность генерации энергии, а потому также и ее светимость уменьшаются соответственным образом, так что звезда переходит к новому положению на диаграмме. Обращаясь

к диаграмме Сирса для звездных масс, мы можем представить себе, что кривые равных масс образуют как бы лестницу из очень неодинаковых ступеней; каждая из них соответствует меньшей массе, чем находящаяся над ней. В чем бы ни состояла эволюция звезды, существенно, что она должна идти всегда вниз по этим ступеням: подъем на высшую ступень здесь исключен.

Мы можем наметить два мыслимых пути звездной эволюции по диаграмме Рэсселя, — два пути, минующие области, не занятые звездами, — две дороги, по которым может двигаться звездная армия при превращении ее массы в излучение. Первая из них есть, конечно, главная ветвь; по многим соображениям ее надо считать важнейшим направлением этого движения звездной армии. Вторым направлением может служить та ветвь диаграммы Рэсселя, которая начинается с красных гигантов; спускаясь по ней, некоторые звезды могут подойти к главной ветви как белые или как голубые звезды; они движутся затем по нижней части главной ветви и заканчивают свой путь как слабые красные звезды на переходе к окончательному потуханию.

Движение по каждому из этих путей связано с непрерывным сокращением размеров звезды. Но это еще не значит, что плотность звезды непрерывно увеличивается. Так как звезда все время теряет массу, то размеры ее могли бы уменьшаться, даже если бы ее плотность и оставалась неизменной. Тем не менее, изучение диаграммы Сирса на стр. 342 приводит к выводу, что здесь имеется непрерывное увеличение плотности, хотя оно становится очень слабым на средних участках главной ветви.

В сущности, во всех теориях звездной эволюции, которые когда-либо были предложены, предполагалось, что эволюционные пути звездной армии соответствуют только что данному нами их общему описанию; но в наши дни намечается, пожалуй, склонность смотреть на главную ветвь как на основное направление этого движения; однако

в первоначальных теориях принималось обычно, что самые молодые звезды движутся только по ветви красных гигантов и присоединяются к главной ветви лишь к их зрелому возрасту. В первой серьезной теории, именно теории Локкьера, предполагалось наличие двух ветвей: одной с поднимающейся и другой с опускающейся температурой; обе эти ветви в совокупности соответствовали только что указанному, т. е. прежнему толкованию путей звездной эволюции по диаграмме Рэсселя. Теория, которую сам Рэссель предложил в 1913 году, говорит о тех же самых путях эволюции; но в ней имелась еще попытка дать физическое объяснение тому, что звезды проходят именно по этим путям, а не по каким-либо иным; однако это объяснение было впоследствии оставлено. Позднейшая теория Рэсселя от 1925 г., о которой мы уже говорили на стр. 354 и след., отличалась от его прежней теории только тем, что в ней не было предложено новое физическое объяснение эволюционного движения звезд по этим же самым путям.

В настоящее время можно с основанием считать, что почти все, а может быть даже и все астрономы согласны в том, что эволюционные пути звезд в общем совпадают с теми, которые мы только что наметили для них. Некоторые звезды начинают свое бытие как красные гиганты, иные — как голубые, некоторые, быть может, в промежуточных условиях. Старая, все звезды спускаются по диаграмме Рэсселя, и их различные пути сходятся у разветвления в виде повернутой буквы γ , как видно на рис. 22; пройдя эту точку, они опускаются по главной ветви. Но с другой стороны имеются весьма значительные разногласия в отношении того физического значения, которое присуще эволюционному движению по этим путям. Большинство астрономов воздерживается вероятно от решения, пока какие-нибудь определенные результаты не позволят остановиться на одной из конкурирующих теорий.

Когда звезды впервые начали свое бытие как сгустки огненных струй, изверженных из вращающейся туманности, они должны были состоять из смеси атомов всевозможных типов; многие из этих типов были вероятно столь недолговечны, что почти немедленно превратились в излучение; но у иных жизнь настолько длинна, что их можно в сущности назвать неизменными. Земля должна была почти целиком состоять из атомов этого последнего типа, помимо лишь небольшого числа атомов радиоактивных элементов. Вычисление показывает, что жизнь земных атомов должна быть в среднем неизмеримо продолжительнее, чем жизнь звездных атомов, ибо иначе самоуничтожение их нагрело бы Землю до такой температуры, при которой она была бы необитаемой. Неизменные атомы в звезде почти несколько не усиливают ее способность генерировать энергию, и потому они увеличивают только ее массу. Напротив того, наименее долговечные атомы сильнее всяких других увеличивают генерацию энергии; однако они лишь незначительно повышают массу звезды.

Вообще говоря, чем короче жизнь данного типа атомов, тем большая часть их уничтожается с каждым годом, и потому тем большее количество энергии генерируется в звезде на тонну ее вещества.

Звезда начинает свою жизнь с относительно большой пропорцией недолговечных атомов и потому вначале вырабатывает энергию бешеным темпом. С течением ее жизни недолговечные атомы уничтожаются первыми; при этом падает и среднее количество энергии, генерируемой звездой на тонну ее вещества; таким образом наряду с уменьшением звездной массы происходит и ослабление генерации энергии на тонну массы звезды. В конце концов атомы с большой способностью генерации энергии исчезают, и звезда остается в виде сократившейся и уменьшенной массы, атомы которой почти неспособны к дальнейшей генерации излучения.

Можно высказать все это и в другой форме: количество энергии, генерируемой звездой на тонну ее вещества, пропорционально «силе смертности» ее атомного населения. Сказать, что Сириус генерирует на тонну в 16 раз больше энергии, чем Солнце, равносильно утверждению, что у атомов на Сириусе вероятная продолжительность жизни в 16 раз меньше, чем у солнечных атомов; их сила смертности в 16 раз больше. Так как в каждой звезде постепенно вымирают атомы, у которых сила смертности имеет наибольшее значение, то средняя сила смертности всего атомного населения убывает; иными словами, по мере того как звезда стареет, у нее падает количество генерируемой энергии на тонну вещества.

Эти результаты соответствуют данным наблюдательной астрономии. Наиболее массивные звезды не только генерируют вообще больше энергии, чем менее массивные, как того следовало бы во всяком случае ожидать, они генерируют также и неизмеримо сильнее на тонну их вещества. Это подтверждается следующими данными для звезд, принадлежащих к главной ветви:

Звезда	Масса (масса Солнца = 1)	Генерация энергии (энергии на грамм)
Звезда Пирса A	36,3	15 000
V Кормы A	19,2	1 000
Сириус A	2,45	29
Солнце	1,00	1,90
ε Эридана	(0,45)	0,26
Крюгер 60 B	0,20	0,021

По диаграмме Сирса для звездных масс (стр. 343) можно обнаружить, что это является общим свойством

звезд. Мы можем вспомнить здесь нашу прежнюю метафору о звездах, которые расточают с большой щедростью свое вещество, пока они молоды и пока у них есть что тратить, но к которым скупость подкрадывается на старости лет; однако только теперь мы получили теоретическое объяснение этого явления.

По той же самой диаграмме Сирса видно, что у двух звезд с равными массами светимости, вообще говоря, будут неодинаковы. Так, светимость звезд на побочной ветви, ведущей к красным гигантам, существенно выше, чем светимость звезд главной ветви, обладающих той же самой массой. Мы уже отметили, что излучение красного гиганта может быть в 10—20 раз сильнее излучения звезды главной ветви с одинаковой массой. То же самое повторяется и при переходе от звезд главной ветви к белым карликам. Первые испускают несравненно больше излучения (в 500 или даже более раз), чем белые карлики с такой же массой. Для примера приводим здесь данные для трех белых карликов; их можно сравнить с тремя последними звездами предыдущего списка.

Звезда	Масса (масса Солнца=1)	Генерация энергии (эрги на грамм)
Сириус В	0,85	0,0027
α ₂ Эридана В	0,44	0,002
Звезда ван-Маанена	(0,20)	(0,00055)

До сих пор мы предполагали, что генерация энергии в звезде происходит самопроизвольно и потому не зависит от изменений в ее физическом состоянии. Однако только что приведенные данные указывают повидимому на то, что этим еще нельзя объяснить всей совокупности фактов. Возьмем конкретный пример: Сириус А и его спут-

ник, белый карлик Сириус *B*, как можно уверенно предполагать, были рождены в одно и то же время из недр одной и той же туманности (стр. 345); между тем первый генерирует на тонну в 4000 раз больше энергии, чем второй. Представляется невероятным, чтобы столь значительная разница между ними могла быть объяснена тем, что они состоят из атомов различных типов; это почти что исключается в силу общего происхождения обеих звезд. Но мы знаем, что атомы в обеих этих звездах находятся в различных условиях в смысле их целостности: в Сириусе *A* у атомов еще сохраняются нетронутыми кольца *K*-электронов; но в белом карлике Сириус *B* атомы расщеплены окончательно на обнаженные ядра и свободные электроны. Таким образом, если обе составляющие Сириуса состоят преимущественно из атомов одинакового типа, как этого можно ожидать при общем происхождении обеих звезд, то огромная их разница в отношении генерации энергии должна быть повидимому обусловлена различием в состоянии атомов на каждой из этих звезд.

Между тем, по соображениям, высказанным нами в III главе, можно считать весьма вероятным, что мера и темп генерации энергии зависят именно от условий состояния звездных атомов, т. е. от их расщепления. Мы говорили там, что звездная энергия возникает при соединении протонов с электронами; протоны находятся только в атомных ядрах, и чисто физические соображения приводят к предположению, что единственные электроны, могущие соединяться с протоном, суть те, которые в данный момент описывают орбиты вокруг ядра, в котором находится протон. Изучение строения звезд подтверждает эту гипотезу; если бы энергия могла возникать при соединении свободных электронов с ядрами, то, как можно показать, звезды были бы неустойчивы и взрывались во вспышке излучения. Но, согласно только что сформулированной гипотезе, звезды, в которых только у немногих атомов сохраняются еще электроны в состоянии орбитальных дви-

жений вокруг ядер, могут лишь слабо генерировать энергию. Этим сразу объясняется малая генерирующая способность белых карликов; отсюда получается и намек на объяснение, почему красные гиганты, у которых сохраняются еще в целостности кольца L и M электронов, генерируют больше энергии, чем звезды главной ветви с одинаковой массой.

По мере того, как звезда стареет и масса ее уменьшается, ей приходится непрерывно перестраиваться так, чтобы испускание энергии шло у нее тем же темпом, как и ее внутренняя генерация. Одна и та же звезда может попеременно быть красным гигантом, звездой главной ветви и белым карликом. Оставляя в стороне технические тонкости, это означает, что звезда непрерывно приспосабливает размеры своего диаметра к переменному темпу генерации энергии.

Из нашей гипотезы о зависимости темпа генерации энергии от состояния расщепления атомов следует между прочим, что у звезды меняются и испускание и генерация энергии по мере изменения ее диаметра. В каждый момент звезде нужно как бы выбрать тот диаметр, при котором испускание и генерация в точности уравниваются. Но перед звездой имеются столь широкие возможности в смысле темпа генерации (в зависимости от того, много или мало остается у нее электронов в состоянии орбитальных движений), что повидимому она всегда имеет возможность найти ту конфигурацию, при которой ее положение будет устойчивым. Во всяком случае это удалось всем звездам на небе, исключая, пожалуй, лишь долгопериодические переменные; эти последние непрерывно сокращаются и расширяются, как будто они не могли напасть на диаметр такой величины, при которой их энергетический приход и расход как раз бы балансировались.

Исходя из той же самой гипотезы, мы можем легко понять, что все звезды галактической системы, несмотря на их большое разнообразие, могут иметь приблизительно

один и тот же возраст и следовательно происходить из недр одной и той же туманности. Самые яркие звезды галактики едва ли генерировали энергию тем же самым темпом, как теперь, больше чем приблизительно 100 миллиардов лет; для более длинных сроков потребовалось бы невозможно большие значения исходных масс. Однако из звездных движений получается указание на то, что даже эти самые яркие звезды существовали по крайней мере в 50 раз дольше. Это кажущееся противоречие устранится, если мы примем, что исключительная сила света самых ярких звезд может быть явлением относительно недавнего происхождения и что, быть может, за 98% всей ее жизни такая звезда теряла лишь очень мало энергии; это могло произойти, если ее атомы в значительной их части были лишены всех электронов и тем самым предохранялись от уничтожения. К этому и сводятся те случаи приостановленного развития звезд, о которых мы говорили на стр. 224. Однако указанная пропорция в 98% может показаться подозрительно большой; но мы принимаем ее на самый крайний случай; нам достаточно применять ее только для звезд очень редкого типа: на каждые десять миллионов звезд под этот тип подходит, пожалуй, всего лишь одна.

В их первичном дремотном состоянии эти звезды, которые теперь являются столь яркими, представляли бы собой очевидно не что иное, как белых карликов с огромными массами. Наблюдательная астрономия не дает нам никаких указаний на существование подобных звезд, но, разумеется, нельзя найти доказательств тому, что таких звезд нет вообще. Очень массивные звезды, как известно, весьма редкие объекты, поэтому нам пришлось бы по всей вероятности уйти очень далеко от Солнца, прежде чем напасть на такую звезду; но тогда она могла бы оказаться столь далекой, что с Земли ее вообще нельзя было бы увидеть. Во всяком случае, более чем правдоподобно, что обнаружить очень удаленную звезду со слабой силой света

чрезвычайно трудно. То, что до сих пор не удалось найти ни одной такой звезды, еще не доказывает, что этих звезд нет.

Более того, далеко нельзя считать доказанным, что таких звезд не найдено до сих пор. Очень массивные белые карлики должны были бы обладать более высокой поверхностной температурой, чем массивные звезды главной ветви или чем известные нам белые карлики, у которых масса очень мала. Между тем имеется целая группа звезд — это так называемые звезды типа *O* — спектры которых указывают на их чрезвычайно высокую температуру. Их принимают обычно за звезды с огромной светимостью, находящиеся на чрезвычайно далеких расстояниях; однако не исключена возможность, что по крайней мере некоторые из них суть звезды со слабой силой света на сравнительно небольших расстояниях. В частности все те звезды, которые находятся в центрах планетарных туманностей, принадлежат к спектральным типам *O* или *B*. Но в то время как нормальные звезды этих типов, находящиеся на главной ветви, обычно в тысячу раз ярче Солнца, центральные звезды планетарных туманностей оказываются значительно менее яркими, чем Солнце. Проф. Б. П. Герасимович недавно показал, что у 52 таких звезд средняя светимость равна приблизительно всего лишь двум третям яркости Солнца. По другим исследованиям их светимость еще слабей. Так как поверхностная температура этих звезд порядка $30\,000^{\circ}$, они должны иметь очень малый размер; и действительно, простое вычисление показывает, что радиус их едва ли превышает одну десятую радиуса Солнца.

Однако эти звезды не только очень малы по размерам; у нас имеются указания на то, что они обладают значительными массами. Спектроскопические наблюдения обнаруживают, что во многих случаях окружающие их туманности находятся в состоянии вращения; поэтому их массы могут быть получены через наблюдаемые угловые скорости их вращений, подобно тому как это было сделано для га-

лактики (стр. 98) и для больших внегалактических туманностей (стр. 107). По скоростям их вращений массы планетарных туманностей получаются порядка 40 или 50 солнечных масс. Правда, Кэмпбелл и Мур на Ликской обсерватории нашли, что масса туманности N. G. C. 7009 должна быть равна 162 массам Солнца; однако по многим соображениям этот результат нельзя считать окончательным.

Все это приводит нас к предположению, что центральные звезды планетарных туманностей являются по всей вероятности «белыми карликами» с огромными массами. Возможно, что они относятся именно к тому типу звезд, который требуется по нашей теории. Те 52 планетарные туманности, которые исследованы проф. Герасимовичем, находятся на таких же расстояниях от Солнца и обнаруживают такое же распределение в пространстве по отношению к галактике, как и звезды спектрального типа O ; поэтому возможно, что как звезды типа O , так и планетарные туманности являются теми формами, которые космические тела, одинаковые по своей природе, принимают либо альтернативно, либо последовательно в процессе их эволюции. Необходимо заметить, что в спектрах планетарных туманностей обнаруживаются смещения, которые — если к ним применять обычное объяснение — указывали бы на то, что эти туманности движутся с огромными скоростями, в некоторых случаях достигающими сотен километров в секунду. Но такие скорости были бы совершенно неподходящими для звезд со столь большими массами. Однако это возражение опровергает, пожалуй, само себя: если бы спектральные смещения были действительно вызваны большими скоростями движений, то планетарные туманности, обладающие наибольшими из этих скоростей, уже давно унеслись бы далеко за пределы галактики; они были бы случайными путниками, идущими сквозь нашу звездную систему; между тем их правильное распределение и их концентрация у плоскости галактики доказывают достаточно убедительно, что они являются

постоянными членами этой системы. Таким образом наблюдаемые значительные спектральные смещения едва ли могут соответствовать большим скоростям их движений в пространстве: они должны найти иное объяснение. Проф. Перрайн указывает, что они могут возникать главным образом за счет внутренних движений, сжатий, расширений и вращений этих туманностей. Если так, то их движение в пространстве уже не может быть определено; зато по крайней мере исчезают и все связанные с ним затруднения. Если эти звезды действительно представляют собой, как того требует наша гипотеза, белые карлики с очень большой массой и малыми размерами, то в их спектрах должно обнаружиться то смещение всех линий к красному концу, которое вытекает из теории относительности и которое фактически наблюдалось у Сириуса В. Возможно, что из этого возникнет более серьезное затруднение для нашей теории; тем не менее не исключена возможность, что это смещение окажется поглощенным в тех значительных смещениях, которые наблюдаются в спектрах этих звезд.

В виду сказанного представляется вполне допустимым, что как планетарные туманности, так и звезды типов *O* и *B* со слабой светимостью могут быть теми очень массивными звездами в дремотном состоянии, к которым приводит нас рассматриваемая гипотеза. Короче говоря, мы допускаем, что у очень массивной звезды вещество не подвергается уничтожению в силу того, что звезда в течение биллионов лет существует под видом планетарной туманности или карлика типа *O* и что затем она вспыхивает как очень яркая звезда со всеми признаками ранней молодости. Но к настоящему времени имеется слишком мало наблюдательного материала как в пользу этой гипотезы, так и против нее. Несколько кусков загадочной картинки здесь еще не хватает, и нам остается только ждать, пока их удастся найти.

Белые карлики. Не касаясь этих гипотетических мас-

сивных белых карликов, астрономы в обыкновенных белых карликах видят, вообще говоря, последнюю стадию звездной эволюции. Все согласны в том, что это звезды, у которых центральная температура так высока, что у их атомов оторваны все электроны; однако нет еще общего согласия относительно того, какой собственно процесс приводит звезды к подобному состоянию.

По гипотезе жидких звезд области диаграммы Рэсселя, не занятые звездами, соответствуют неустойчивым состояниям. В обычных условиях потеря звездой незначительной части ее массы вызывает смещение звезды к новому положению, смежному с тем, которое она раньше занимала на диаграмме. Однако в некоторых случаях это небольшое смещение может привести звезду в неустойчивую область диаграммы; при таких условиях она с большой поспешностью пройдет через всю эту область, пока наконец не остановится на некоторой устойчивой конфигурации, существенно отличной от предыдущей.

Гипотеза жидких звезд весьма просто объясняет то конечное состояние, до которого катастрофически доходит звезда, когда генерация энергии оказывается у нее недостаточной, чтобы обеспечить за ней место на главной ветви. В этом состоянии звезда излучает так мало энергии, что уничтожение вещества и разрушение звезды приостанавливаются почти совершенно. Мы уже видели, что если бы Солнце продолжало излучать энергию тем же темпом как теперь, на 15 миллиардов лет, то вся его масса превратилась бы в излучение. Напротив того, звезда ван-Маанена может и вероятно будет продолжать излучать с той же силой, как теперь, на 15 миллиардов лет, и потеряет при этом не больше, чем одну тысячную часть ее настоящей массы. Мы можем представить себе, что состояние белых карликов есть конечное состояние, в котором от изменений и разрушений звезды не остается почти и следа; поэтому всякая звезда, достигая его, получает как бы право на жизнь в течение тысяч миллиардов лет.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

ЖИЗНЬ И ВСЕЛЕННАЯ.



Мы говорили во Введении, что астрономы XIX века склонны были утверждать, что на небе имеются миллионы звезд, окруженных планетами, на которых жизнь может поддерживаться светом и теплом, получаемыми ими от этих звезд. В заключении нашей книги мы возвращаемся к этому вопросу, имея в виду осветить его данными, которые были собраны в предыдущем изложении в отношении происхождения нашей планетной системы, равно как и строения и жизни звезд.

Прежде всего мы должны будем признать, что предполагать в каждой светящейся точке на небе возможный очаг жизни нам не приходится. Сами звезды имеют поверхностную температуру порядка от 1650° до $30\,000^{\circ}$ и даже больше, и температура их внутренних областей должна быть существенно выше. Почти вся мировая материя находится при температурах в миллионы градусов, так что ее молекулы разбиты на атомы, а атомы — по крайней мере частично — расщеплены на составляющие их части. Но самое понятие жизни сопряжено с представлением о некоторой длительности во времени; и жизнь не может существовать там, где атомы меняют свое строение миллионы раз в секунду и где любые два атома никак не могут остаться в соединении друг с другом; кроме того, оно предполагает также наличие движения в пространстве. Оба эти условия ограничивают жизнь тем узким интервалом физических состояний, которые осуществляются у жидкостей. Но наш обзор вселенной обнаружил, как незначителен этот интервал по сравнению со всем

многообразием состояний, которые проявляются во вселенной в ее целом. Жизнь нельзя найти ни на звездах, ни на туманностях, из которых звезды были рождены. За исключением планет, обращающихся вокруг их Солнца подобно нашей Земле, нам неизвестны никакие типы космических образований, строение которых могло бы благоприятствовать появлению жизни.

Между тем планеты представляют собой явление очень редкое. Они появляются на свет в результате тесного сближения двух звезд; но звезды рассеяны на столь огромных расстояниях, что прохождение одной звезды в ближайшем соседстве другой должно быть невообразимо редким явлением. Тем не менее, точный математический анализ обнаруживает, что планеты не могли произойти иначе, как при условии прохождения двух звезд на расстоянии приблизительно их утроенного диаметра. Зная степень рассеяния звезд в пространстве, мы в состоянии вычислить с достаточной точностью, как часто могут происходить такие сближения; и это вычисление показывает, что вероятность того, что звезда, прожив биллионы лет своей жизни, успела превратиться в Солнце, окруженное семьею планет, остается все-таки не большей, чем одна сотысячная.

Но пусть даже звезда представляет собою Солнце, окруженное семьею планет; для того, чтобы жизнь могла зародиться на этих планетах, они не должны быть ни слишком холодны, ни слишком горячи. Так например мы не можем представить себе, чтобы в солнечной системе жизнь существовала на Меркурии или на Нептуне: жидкости кипят на первом и замерзают на втором. Такие планеты не подходят для жизни, потому что они слишком близки к Солнцу или же слишком от него удалены. Но мы можем представить себе и другие планеты, на которых жизнь не может существовать потому, что их материя сама настолько сильно генерирует энергию, что делает их непригодными для жилья. Те инертные атомы, из которых со-

стоит наша Земля, представляют собой повидимому окончательный продукт длинного ряда атомных превращений, нечто вроде последнего пепла, оставшегося от сгорания вселенной. Мы видели, что атомы этого рода всплывают наверх во всех звездах, так как они легче других; однако отнюдь нельзя заранее сказать, что все планеты должны состоять только из инертных атомов и поэтому будут схлаждаться до тех пор, пока жизнь не сможет найти пристанища на них. Это случилось с нашей Землей, но мы не знаем, сколько планет и планетных систем могут быть неподходящими для жизни потому, что с ними этого не произошло.

Все это приводит нас к мысли, что в лучшем случае только ничтожно малая часть вселенной может быть приспособлена к тому, чтобы служить убежищем для жизни. Первобытное вещество должно продолжать свои превращения в излучение в течение биллионов лет с тем, чтобы произвести незначительное количество того инертного пепла, на котором может существовать жизнь; и тогда, силой почти невероятной случайности, именно этот пепел, и ничто другое, должен быть вырван из Солнца, где он образовался, и сгуститься в планету. Но даже и тогда эти остатки пепла не должны быть ни слишком холодны, ни слишком горячи, — иначе жизнь будет невозможной на них.

Но в конце концов, если все эти условия соблюдены, появится ли жизнь или нет? Разумеется, мы можем не придавать здесь никакого значения господствовавшей одно время теории о том, что если жизнь появилась каким бы то ни было образом во вселенной, она быстро распространится с одной планеты на другую, с одной планетной системы на следующую, пока вся вселенная не будет кишеть жизнью; мы считаем теперь пространство слишком холодным для этого и планетные системы слишком далекими друг от друга. Наша земная жизнь, по всем вероятностям, должна была возникнуть на самой Земле.

О том, как это произошло, нам должна бы сообщить биология. Мы обращаемся к биологу с этим вопросом и ждем от него ответа — ответа, которого до сих пор он еще не был в состоянии нам дать.

Но и астроном мог бы частично ответить за него, если бы в его распоряжении имелось доказательство жизни на Марсе или на какой-либо другой планете; ибо тогда мы узнали бы по крайней мере, что жизнь возникла больше чем однажды в истории вселенной; однако до сих пор убедительных доказательств этому не могло быть приведено. Предполагаемые каналы на Марсе исчезают при наблюдении в действительно мощный телескоп и они не выдержали испытания перед астрофотографом. Изменения, соответствующие смене времен года, несомненно происходят на Марсе, как и на Земле; они сопровождаются явлениями, в которых некоторые астрономы склонны видеть развитие и упадок растительности, хотя, быть может, они представляют собой не больше как дожди, орошающие пустыни. У нас не имеется определенных указаний на жизнь — и уже конечно никаких указаний на жизнь сознательных существ — ни на Марсе, ни в каком-либо ином месте мироздания.

На первый взгляд представляется удивительным, что кислород входит в столь значительных количествах в земную атмосферу при его высокой активности в образовании химических соединений с другими элементами. Однако мы знаем, что растительный мир постоянно выделяет кислород в атмосферу, и неоднократно указывалось на то, что атмосферный кислород может иметь преимущественно, если не полностью, растительное происхождение. Если так, то присутствие или отсутствие кислорода в атмосферах других планет должно обнаружить, существуют ли на этих планетах растительный покров вроде того, которым обладает Земля, или нет.

Кислород имеется несомненно в атмосфере Марса, хотя количество его невелико. По определению Адамса и

С. Джона над каждым кв. км поверхности Марса его не может быть больше чем 15% соответственного количества над Землей. В атмосфере Венеры либо вовсе не имеется кислорода, либо он есть в ничтожных долях. Но если он и имеется там, то, по определению С. Джона, количество его над облаками, покрывающими поверхность Венеры, должно быть во всяком случае меньше 0,1% соответственного количества на Земле. Этот результат обнаруживает, что Венера, — единственная из планет, на которой помимо Марса и Земли могла бы существовать жизнь, — не обладает ни растительностью, ни кислородом, которым могли бы дышать существа высших форм.

Мы твердо знаем, что жизнь окружает нас на Земле; но на этом исчерпываются все наши определенные представления о ней, исключая лишь убеждение в том, что ее бытие должно быть в лучшем случае ограничено ничтожной частью вселенной. Существуют биллионы звезд, которые сейчас не несут на себе ничего живого, которые никогда его не несли и не будут нести. Среди редких планетарных систем на небе многие должны быть совершенно лишены жизни; если же она и существует на некоторых из этих систем, то, вероятно, только на малом числе их планет. Три столетия, протекшие с тех пор, как Джиордано Бруно был сожжен на костре за его веру во множественность обитаемых миров, принесли с собою почти не поддающуюся описанию перемену в нашем познании мира; но они не приблизили нас сколько-нибудь заметно к пониманию связи между жизнью и вселенной. Мы можем только строить догадки о значении жизни, которая, по всей видимости, является в ней столь редким явлением. Представляет ли она собой то высшее достижение, к которому идет мироздание и для которого биллионы лет превращений материи в ненаселенных туманностях и звездах и рассеяние излучения в пустынных пространствах были только невероятно странной и удивительной подготовкой? Или не есть ли она простая случайность и незначительный

побочный продукт естественных процессов, текущих в мировой материи? Или, становясь на еще более скромную точку зрения, не должны ли мы смотреть на нее как на болезнь, которой начинает страдать материя на старости ее лет, когда она теряет высокую температуру и способность к генерации того высокочастотного излучения, которым более молодая и мощная материя могла бы сразу уничтожить жизнь?

Однако астроному едва ли принадлежит право выбора между этими противоречащими друг другу взглядами на жизнь; его задача выполнена, когда он раскрыл все, что может по этому вопросу сказать астрономия.

ЗЕМЛЯ И ЕЕ БУДУЩЕЕ.

Оставим все эти пожалуй слишком отвлеченные рассуждения и снова сойдем на Землю. Мы чувствуем ее твердь под ногами, мы ощущаем над нами солнечные лучи. Какими-то судьбами жизнь тоже оказалась здесь; мы сами составляем ее часть. И естественно задаться вопросом о том, что может сказать астрономия о будущем Земли.

Основное явление, господствующее над всем положением вещей, состоит в том, что мы зависим от солнечного тепла и света и что они не могут остаться навсегда такими, как они есть теперь. По всему, что нам известно в настоящее время, условия солнечной деятельности не могли измениться значительно за те 2 миллиарда лет, в течение которых существует Земля; эти 2 миллиарда лет ее жизни составляют столь малую часть всей жизни Солнца, что мы в праве допустить, что Солнце оставалось неизменным за всю жизнь Земли. Уже это само по себе наводит на мысль, что, поскольку речь идет об явлениях астрономического порядка, жизнь может рассчитывать господствовать на Земле в течение значительно более долгих времен, чем весь прошлый возраст Земли.

Земля, происшедшая на свет в виде массы горячего газа, постепенно остывала; теперь она дошла почти до пре-

дела, и ее поверхность не обладает почти никаким теплом помимо того, которое она получает от Солнца. Им почти в точности пополняется то тепло, которое Земля излучает в пространство; поэтому температура ее могла бы остаться навсегда такой же, как теперь, если бы не изменялись внешние условия; все перемены условий на Земле обуславливались бы изменениями, происходящими вне ее.

Эти внешние изменения могут быть весьма разнообразны. Так, в силу потери Солнцем его массы, Земля отступает от него со скоростью приблизительно 1 метра в столетие, так что через биллион лет она будет на 10% дальше от источника света и тепла, чем теперь. Вследствие этого, даже если бы Солнце продолжало излучать столько же света и тепла, как в наши дни, Земля стала бы получать на 20% меньше его излучения, и ее средняя температура была бы приблизительно на 15° ниже, чем теперь. Однако через биллион лет Солнце не будет излучать столько же тепла и света, как в наши времена; оно потеряет на излучение около 6% его массы, и от этого, судя по другим звездам, его способность генерации энергии уменьшится приблизительно на 20%. Это вызовет уменьшение температуры Земли еще на 15°, так что через биллион лет неизбежный ход событий приведет к понижению температуры на Земле приблизительно на 30°.

Было бы слишком опрометчиво пытаться предсказать, в какой мере такое падение температуры может отразиться на жизни на Земле, в частности на жизни человека. Если дано достаточное время, жизнь проявляет изумительные возможности приспособления к окружающим условиям; поэтому не исключено, что даже при температуре на 30° ниже, чем теперь, жизнь может все-таки существовать на Земле еще и через биллион лет.

Не придавая большого веса этим попыткам представить себе в смутном видении жизнь, какой она будет через биллион лет, мы можем все-таки считать, что этот период соответствует в круглых числах тому промежутку,

по истечении которого неизбежное рассеяние солнечной массы должно будет повидимому смести жизнь с лица Земли. Венера, средняя температура которой приблизительно на 60° выше, чем на Земле, вероятно слишком горяча в настоящее время для жизни. Но через биллион лет температура Венеры упадет приблизительно на 40° , так что где-то на промежутке между одним и двумя биллионами лет от наших веков Венера, быть может, превратится в то, что теперь представляет собою Земля. Появится ли тогда жизнь на Венере или нет, этого нам не дано знать, и было бы бесцельно высказывать какие-либо догадки на этот счет; но во всяком случае не исключена вероятность того, что когда Земля сдаст свою позицию, Венера сможет ее заменить. Допустимо, что за Венерой в должном порядке последует Меркурий; однако по современным данным Меркурий лишен атмосферы, и при этих условиях трудно представить себе его как убежище жизни, которая в каком-либо отношении может быть похожей на жизнь, окружающую нас теперь на Земле.

До сих пор мы имели в виду лишь нормальный ход событий; но разнообразные случайности могут повлечь за собой гибель человеческого рода еще раньше, чем истечет биллион лет. Может случиться, что Солнце столкнется с другой звездой; что один астероид налетит на другой и что при этом его движение изменится настолько, что он наскочит на Землю; или что какая-нибудь звезда, двигаясь из глубин пространства, зайдет внутрь солнечной системы и этим внесет столь существенные изменения в формы планетных орбит, что Земля окажется уже не в состоянии служить пристанищем жизни. Довольно трудно оценить вероятность наступления какого-нибудь из этих событий, но все они представляются весьма неправдоподобными, в особенности первое и третье. Не будем принимать во внимание этих возможностей вообще.

Но существует иная опасность, от которой нельзя отделаться столь легко. Установим, в чем она состоит, и

для этого воспользуемся сперва нашим техническим языком. Солнце есть звезда главной ветви, и надо заметить, что оно расположено очень близко к левому краю той полосы, которую эта ветвь занимает на диаграмме Рэсселя (стр. 339). Но книзу от этого края на диаграмме имеется область совершенно свободная от звезд. Мы предположили, что эта область не заселена звездами потому, что соответствующие ей состояния неустойчивы. Звезды проходят через нее очень быстро, пока им не удастся дойти до устойчивой конфигурации и пока они в конце концов не окажутся в такой области диаграммы, которая может быть устойчиво занята звездами. Но ближайшие устойчивые состояния, лежащие за этой областью, соответствуют белым карликам, и так как в целом белые карлики менее массивны, чем звезды главной ветви, то ход звездной эволюции повидимому ведет в этом случае от звезд главной ветви к белым карликам. С этой точки зрения белые карлики должны были быть раньше звездами главной последовательности; но они вышли через левый край полосы устойчивых состояний и затем, быстро пройдя через неустойчивую область, вновь приобрели устойчивость под видом белых карликов.

Опасность заключается в том, что Солнце уже теперь находится весьма близко от левого края главной ветви. Согласно определениям Рэдмана, — наиболее надежным из всех, которыми мы обладаем теперь, — полоса главной ветви для устойчивых состояний звезд того же самого спектрального класса, как Солнце (G_0), проходит приблизительно между действительными яркостями 3,34 и 0,97 (сила света Солнца, как всегда, принимается равной 1,00). Второе из приведенных чисел и соответствует опасному левому краю полосы главной ветви. Таким образом, если бы сила света Солнца уменьшилась всего лишь на 3%, оно попало бы как раз на край главной ветви и устремилось бы к состоянию белого карлика. Но при этом излучение видимого света и тепла упало бы столь значительно,

что жизнь была бы изгнана с Земли. Среди известных нам белых карликов спутник Сириуса есть тот, на который Солнце могло бы больше всего походить; но он, как мы знаем, испускает в четыреста раз меньше света и тепла, чем Солнце.

Повторяя все это на менее техническом языке, мы должны сказать, что Солнце находится теперь очень близко от того ненадежного состояния (если только оно уже не пришло к нему), в котором звезды подвержены опасности начать сокращаться, доводя при этом свое излучение до весьма малой части того, которое Солнце испускает теперь. При таком сокращении Солнца наши океаны превратились бы в лед, а наша атмосфера в жидкий воздух; представляется невозможным, чтобы жизнь на Земле могла продолжать существовать. В обширном небесном музее должны быть несомненно представлены экземпляры таких сжавшихся Солнц, вокруг которых обращаются планеты вроде нашей Земли. Но вопрос о том, несут ли на себе эти планеты замерзшие остатки жизни, некогда столь же кипучей, как теперь жизнь на Земле, остается, конечно, совершенно неприступным для нас.

Можно было бы думать, что все это раскрывает довольно печальные перспективы перед Землей; но у нас имеются и некоторые основания смотреть на них не так мрачно. Прежде всего, уменьшение силы света Солнца на 3% едва ли произойдет раньше, чем через 150 миллиардов лет. Это уже само по себе не так плохо; но положение становится еще несравненно более благоприятным, если принять во внимание, что эволюция звезд, включая и Солнце, идет в направлении почти параллельном краю главной ветви. Солнце вовсе не устремляется в пропасть; скорее, оно идет вдоль ее края. Но приближается ли оно к его краю, и должно ли оно в конце концов свергнуться в пропасть, этого мы опять-таки не знаем; во всяком случае невероятно, чтобы оно могло достичь края раньше, чем через биллион лет.

Наконец и оценка самого расстояния Солнца от края главной ветви отнюдь не может быть произведена с той же самой точностью, которой мы придерживались в предыдущих вычислениях. Число 0,03 получилось у нас как разность двух гораздо больших чисел; и хотя оба они определены с значительной относительной точностью, тем не менее ни одно из них не известно с достаточным приближением для того, чтобы мы могли считать совершенно бесспорной их разность в 0,03. Все, что мы можем здесь сказать, сводится к тому, что Солнце действительно находится близко от края главной ветви, но что для заметного смещения его в направлении к этому краю потребуются биллионы лет.

Другая опасность, хотя еще более проблематичная, тоже должна быть отмечена здесь. Мы видели, что время от времени на небе появляются «новые» звезды; на короткое время они излучают с потрясающей силой, но затем либо совершенно угасают, либо продолжают светить с яркостью обыкновенных звезд. Во многих случаях удалось доказать, что «новая» является одной из обыкновенных звезд, которая наблюдалась как очень слабая звезда задолго до ее появления в виде «новой», затем возгорелась с исключительной яркостью на очень короткий срок и после этого вновь упала до среднего уровня. Представляется естественным допустить, что к этому же сводится и история всех «новых», хотя очень часто слабая звезда остается необнаруженной, пока она не вспыхнет, как новая. Появление новых звезд отнюдь не является редкостью; в среднем, в одних лишь пределах галактической системы их насчитывается в год около шести. Но если мы допустим, что в галактической системе имеется 300 миллиардов звезд, то это означает, что в среднем каждая звезда делается «новой» раз в 50 миллиардов лет. Но нам важно было бы знать, стоит ли и Солнце перед опасностью испытать судьбу «новой»; ибо, если у звезд всех типов возможности в этом

отношении одинаковы, то Солнце рискует обратиться в «новую» около двадцати раз в течение грядущего биллиона лет.

До сих пор астрономы не могли прийти к соглашению ни в отношении тех физических причин, которыми объясняется возгорание новых звезд, ни в отношении физических условий, господствующих в них в эти периоды. По этому вопросу имеется несколько теорий, но ни одна из них не получила общего признания. Мы можем только считать очевидным, что если бы Солнце превратилось в новую звезду, то его излучение света и тепла сожгло бы живьем всякую жизнь на Земле. Однако нам совершенно неизвестно, рискует ли Солнце пройти через стадию «новой». Если да, то в этом заключалась бы величайшая из опасностей, стоящих перед жизнью на Земле.

Однако, отвлекаясь от этих случайностей, мы можем по сказанному раньше считать, что время, в течение которого Земля, при естественном ходе эволюции солнечной системы, должна оставаться убежищем жизни, измеряется интервалом порядка биллиона лет.

Это приблизительно в пятьсот раз превышает весь предыдущий возраст Земли и в три миллиона раз больше, чем время, в течение которого на ней существует человеческий род. Попробуем представить себе эти интервалы в их надлежащей пропорции с помощью еще одной простой модели. Возьмите почтовую марку и приклейте ее на монету в один пенс. Теперь взберитесь на самый верх того обелиска, который все население Лондона знает под названием «Иглы Клеопатры», и положите на него этот пенс, маркой навверх. Пусть высота всего сооружения представляет время, протекшее с тех пор, как произошла Земля. В этом масштабе общая толщина марки и пенса изображает время, в течение которого человек жил на Земле. Толщина марки соответствует времени, когда человек был цивилизован, толщина пенса — времени, когда он жил как

дикарь. Теперь наклейте еще одну почтовую марку на первую, с тем, чтобы изобразить 5000 лет грядущих культур, и продолжайте клеить марки одну на другую, пока не получится шпиль высотой в Монблан. Но и тогда этот шпиль даст еще не вполне правильное представление о продолжительности будущего, которое, насколько можно судить по данным астрономии, расстилается перед культурным человечеством, если только какая-либо случайность не положит ему предел. Первая марка соответствовала прошлому нашей культуры; игла высотой в Монблан есть ее будущее. Или, подходя с иной точки зрения, первая марка изображает собой то, чего человек уже достиг; шпиль, уходящий ввысь за вершину Монблана, представляет собой то, чего он может достичь, если его достижения будут соответствовать продолжительности его бытия на Земле.

Однако мы видели, что нам нельзя уверенно рассчитывать на столь безмерное будущее. Случайностям подвержены и отдельные личности и весь человеческий род. Могут произойти столкновения небесных тел; сокращаясь до размеров белого карлика, Солнце могло бы во тьме и морозе уничтожить всю жизнь на Земле; но оно могло бы и сжечь наш род до тла, вспыхнув как «новая» звезда. Из-за таких случайностей шпиль из почтовых марок рискует превратиться в усеченную колонну, которой по высоте не сравниться с Монбланом. Но если даже и так, перед человечеством открыты перспективы на будущее в десятки миллиардов лет. Однако наше сознание (не говоря лишь разве о мыслях производящего свои вычисления математика) совершенно не в состоянии учесть различия между таким промежутком и тем биллионом лет, на который мы были бы в праве рассчитывать, если бы всякие случайности были заведомо исключены. Для всех практических целей единственное утверждение, имеющее действительную значимость и смысл, может быть только то, что наш род должен считаться с его будущим пребыванием на

Земле в течение срока несравненно большего, чем всякий промежуток, который мы можем вообразить.

Поскольку речь идет о пространстве, изучение астрономии ведет в лучшем случае к познанию подавляющей обширности мира. Поскольку речь идет о времени, оно превращается в поучение почти беспредельной возможности и надежды. Как обитатели Земли, мы живем в самом начале времен: мы вступаем в бытие в свежих красотах рассвета, и перед нами расстилается день невообразимой длины с его возможностями почти неограниченных достижений. В далеком будущем наши потомки, взирая с другого конца на эту длинную перспективу времен, будут считать наши века за туманное утро истории мира; наши современники будут казаться им героическими личностями, которые сквозь дебри невежества, ошибок и предрассудков пробивали себе путь к познанию истины, к умению подчинить себе силы природы, к построению мира, достойного того, чтобы человечество могло в нем жить. Мы окутаны еще слишком густым предрассветным туманом, чтобы могли даже смутно представить себе, каким явится этот мир для тех, кому суждено увидеть его в полном сиянии дня. Но и в том свете, который мы видим теперь, мы различаем, что астрономия в ее основе несет с собой надежду для человеческого рода в целом и познание ответственности для каждой отдельной личности, — ответственности, так как мы создаем планы и строим основания для будущего, гораздо более продолжительного, чем нам было бы легко представить себе теперь.

ОГЛАВЛЕНИЕ.

	Стр.
Предисловие М. Л. Ширвиндта	5
Предисловия автора	10
Введение. <i>Об изучении астрономии</i>	12
Глава I. <i>Исследуем небо</i>	27
Глава II. <i>Исследуем атом</i>	130
Глава III. <i>Вселенная во времени</i>	189
Глава IV. <i>Происхождение космических форм</i>	233
Глава V. <i>Звезды</i>	312
Заключение	388

ТАБЛИЦЫ.

Открытие Плутона.

- I. Млечный Путь в созвездии Южного Креста.
- II. Планетарные туманности.
- III. Туманность N. G. C. 6960 в Лебеде.
- IV. Большая туманность M. 31 в Андромеде.
- V. Туманность N. G. C. 891 в Андромеде, видимая в ребро.
- VI. Темная туманность «Лошадиная голова», видимая на фоне большой туманности Ориона.
- VII. Тройничная туманность M. 20 в Стрельце.
- VIII. Звездные спектры.
- IX. Шаровое скопление M. 13 в Геркулесе.
- X. Область Млечного Пути около ρ Змееносца.
- XI. Часть большой туманности M. 31 в Андромеде.
- XII. Центральная область той же туманности.
- XIII. Следы α - и β -частиц.
- XIV. Столкновения α -частиц с атомами азота.
- XV. Туманность N. G. C. 4594 в Деве; туманность N. G. C. 7217.
- XVI. Последовательность конфигураций туманностей.
- XVII. Туманность «Водоворот» в Гончих Псах (M. 51).
- XVIII. Туманность M. 81 в Большой Медведице.
- XIX. Туманность M. 101 в Большой Медведице.
- XX. Туманность M. 33 в Треугольнике.
- XXI. Магеллановы Облака.
- XXII. Две туманности, вызывающие предположение о приливном действии.
- XXIII. Туманности-близнецы N. G. C. 4567-8; туманность N. G. C. 7479.
- XXIV. Сатурн и система его колец.

№ 0015

Сдано в набор 19/VІ 1932 г.
Формат 82 × 111.

Ленгортит № 53615.

ТТ — 15-5-4. ОНТИ № 359/л.
Тираж 7 200 — 25 $\frac{1}{4}$ л.

Подписано к печати 1/XII 1932 г.
Тип. зн. в 1 п. л. 37.152.

Заказ № 3029.





