



И. Ф. ПОЛАК

**ПРОИСХОЖДЕНИЕ
ВСЕЛЕННОЙ**

**ОНТИ
ГТТИ
1934**

Проф. И. Ф. ПОЛАК

ПРОИСХОЖДЕНИЕ ВСЕЛЕННОЙ

ИЗДАНИЕ ЧЕТВЕРТОЕ



ОБЪЕДИНЕННОЕ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО НКТП СССР
ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ
ОБЩЕТЕХНИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И НОМОГРАФИИ
МОСКВА 1934 ЛЕНИНГРАД

Редакция П. П. Паренаго. Оформление Н. Я. Костиной. Корректурa
А. П. Татариновой. Выпускающий Л. М. Волкович.

ГТТИ № 196. Тираж 25.000. Подписано в печать с готовых матриц
29/XI-34 г. Формат бумаги 82 × 110. Авторск. листов — 10. Бум. листов
2¹/₂. Печ. знаков в бум. листе 156 000. Заказ 1599. Уполномочен. Глав-
лякта В-10.874. Выход в свет декабрь 1934 г.

3-я тип. ОНТИ. им. Бухарина. Ленинград, ул. Моисеенко, 10.

ПРЕДИСЛОВИЕ К ТРЕТЬЕМУ ИЗДАНИЮ

Третье издание отличается от второго лишь несколькими редакционными поправками. Хотя взгляды на внутреннее строение звезд за последнее время значительно изменились, но новые теории еще не приняли сколько-нибудь законченной формы. Поэтому от изложения их приходится пока воздержаться, и последняя глава книги оставлена почти без изменений.

Москва. Апрель 1934 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ КО ВТОРОМУ ИЗДАНИЮ

Так как первое издание (1926 г.) было встречено сочувственно, то в принципиальной переработке книги для нового издания я не видел надобности. В частности, остался без изменения исторический порядок изложения, только некоторые гипотезы изложены короче или даже совсем выпущены (гипотеза Си). Заново переработаны главы о туманностях и о физическом развитии звезд, которые были написаны еще в 1924 г., т. е. до работ Хэбля над спиральными туманностями и до открытия Эддингтоном соотношения между массой и яркостью звезд. Изложение образования колец в гипотезе Лапласа несколько уточнено, с целью ближе передать мысль ее автора, которая обычно сильно «упрощается». Добавлена маленькая глава о возрасте Земли и Солнца.

Книга написана не физиком и не астрофизиком. Поэтому читатель не должен ожидать встретить здесь разбор вопросов об эволюции материи, об энтропии, о судьбе вселенной. Эти вопросы затрагиваются лишь частично, поскольку это оказывается нужным для главного: изложения современных взглядов на формирование мировых тел и, в частности, Земли.

Москва. Май 1932 г.

И. П.

1. ВВЕДЕНИЕ

У каждого человека, даже стоящего далеко от науки, бывают минуты, когда он глубоко задумывается над тайнами мироздания. Всякий раз, как мы получаем возможность вырваться из бесконечно переплетающейся сети человеческих дел, больших и малых, и стать лицом к лицу со спокойным величием природы, нас охватывают мысли и настроения, далекие от круга наших обычных интересов. Чем величественней картина природы, которая открывается перед человеком в эти минуты, тем сильнее переживаемые им впечатления, тем глубже вопросы, возникающие в его уме. Поэтому самое грандиозное зрелище из всех, нам доступных, именно, вид звездного неба, вызывает особенно сильные переживания. Самые разнообразные, часто совершенно противоположные чувства полняют нас при этом. Созерцание, например, Млечного Пути, этого чудовищного скопища миллионов солнц, среди которых буквально теряется наше Солнце с его крошечными планетами,—производит на многих прямо потрясающее впечатление: так исчезающе мал наш земной «муравейник» в великой звездной системе, так ничтожны в мировом процессе не только наши личные радости и горести, но и вся история и все достижения микроскопического человечества. Этому нездоровому впечатлению мыслящий наблюдатель противопоставляет ободряющее, горделивое сознание могущества человеческого разума, который взвешивает светила, измеряет звездные расстояния и пропикает во внутреннее строение солнц.

Но человечество не может удовлетвориться знанием только пылеинного состояния вселенной. Как бы полны ни были сведения о природе светил в настоящую эпоху истории мира, наша мысль всегда властно будет требовать ответа на великие вопросы о происхождении и судьбе мировых тел и, в частности, нашей Земли, об их прошлом и будущем. Эти вопросы одинаково волнуют и беспомощный ум дикаря,

и вооруженную тончайшими методами исследования мысль современного ученого, и каждый из них ищет ответа по своему крайнему разумению.

Наивному мировоззрению первобытного человека чужда мысль о закономерности мировых явлений, о том, что мы называем «законами природы». Для него мир наполнен таинственными, живыми, большею частью невидимыми существами, добрыми и злыми духами, подобными человеку, но несравненно более могущественными. Эти духи и производят все явления природы по своей личной прихоти. Они (или же один из них, главный) являются и создателями вселенной. Вот основная идея всех древних представлений о происхождении мира. Лишь очень немногие племена, стоящие на самой низкой ступени культуры (вроде африканских бушменов), не интересовались вопросами мироздания. Наоборот, в преданиях и легендах громадного большинства народов, которые нам известны, мы находим рассказы о сотворении мира. Рассказы эти бесконечно разнообразны. По одним представлениям мир был сотворен богом из ничего, или «рожден» им; по другим, наоборот, он создан из какого-нибудь материала, существовавшего и раньше. Одни представляют себе мир созданным сразу в его теперешнем состоянии; другие рисуют очень сложную историю мироздания, в виде продолжительного процесса, подчас полного борьбы и катастроф. Некоторые легенды этого рода поражают наивной скудостью своего содержания, но есть среди них величественные и глубокие создания, принадлежащие к перлам мировой поэзии (например, скандинавские саги, известные под именем «Эдды»). Изучение этих древних *космогоний* (т. е. учений о происхождении мира) представляет большой интерес для историка культуры и мировоззрений человечества, но с точки зрения точного естествознания они не имеют ценности, и поэтому мы на них останавливаться не будем.

Иначе подходит к космогоническим вопросам современная наука. Основным положением ее является закономерность всех событий окружающего нас мира. Все они разворачиваются в строгой *причинной последовательности*: «чудес не бывает». Каждое явление имеет свою причину в каком-нибудь предшествовавшем событии, и связь между ними определяется точными правилами, так называемыми *законами природы*. «Мы должны рассматривать,—говорит великий математик Лаплас,—настоящее состояние вселенной как следствие ее пре-

будущего состояния и как причину последующего». Мы знаем, далее, что мир претерпевает постоянные изменения, что его состояние как в отдаленном будущем, так и в глубоком прошлом должно чрезвычайно отличаться от настоящего. И вот задача научной космогонии и состоит в том, чтобы ответить на вопрос, каково было это состояние в самую отдаленную эпоху, до какой только может проникнуть наша наука, и как из него мог развиваться современный мир под действием управляющих им физических законов.

Очевидно, что полное *научное* решение космогонических вопросов—это задача, далеко превосходящая средства современной науки. Собственно говоря, с *полной* достоверностью и во всех подробностях мы могли бы узнать состояние вселенной в прошлом только в том случае, если бы ум человеческий обладал полным знанием ее современного состояния, как это изображает тот же Лаплас в начале своего «Опыта о вероятностях». Вот это знаменитое место, характерное для механического материализма XVIII столетия: «Ум, которому были бы известны, для какого-нибудь данного момента, *все силы*, одушевляющие природу, и относительное положение всех ее составных частей, если бы вдобавок он оказался достаточно обширным, чтобы подчинить эти данные анализу, обнял бы в одной формуле движения величайших тел вселенной наравне с движениями легчайших атомов, не осталось бы ничего, что было бы для него недостоверно, и будущее, так же как и прошедшее, предстало бы перед его взором». Разумеется, человечеству никогда не будет обладать знанием всех сил, действующих между всеми частицами вселенной в любой момент. Но это вовсе не является целью науки и не представляет для нее даже никакого интереса, подобно тому как для историка какой-нибудь эпохи совершенно не интересно знать поведение каждого отдельного человека этой эпохи. Нечего и говорить, конечно, что знание только механических условий хотя бы и всей вселенной, всех сил и положений всех частиц, без знания качественных, физических условий совершенно недостаточно для понимания законов эволюции мироздания.

Каждое явление природы представляет собой результат взаимодействия множества причин, которые можно назвать «факторами», или «агентами». Например, даже такое сравнительно простое явление, как падение тел *на поверхности Земли*, зависит от силы земного притяжения, от сопротивления

воздуха, от вращения Земли и т. д. Научное исследование природы разделяет действия этих факторов, оно стремится показать, как действовал бы каждый из них в отдельности, если бы влияние остальных было сведено к минимуму. Если это удастся, то выводится *закон природы*, в данном примере—закон падения тел в *пустоте*, под действием только силы тяжести, постоянной по величине и по направлению.

Во многих случаях падения, наблюдаемого на Земле, сила земного притяжения является главным фактором процесса, остальные факторы, в частности, сопротивление воздуха,—второстепенными. Их влиянием можно иногда и совсем пренебрегать, считая, что падение происходит, как в безвоздушном пространстве, по точным законам падения тел. В других случаях влияние этих второстепенных факторов должно быть учтено, но именно как второстепенное—в виде сравнительно небольших поправок, которые придаются к главным величинам, вычисленным по «законам падения». Наконец, возможны случаи, когда тело падает по законам, не имеющим ничего общего с законами падения; это значит, что факторы, которые до сих пор мы считали второстепенными, теперь стали главными. Например, при падении дождевых капель и пылинок первенствующее значение имеют законы сопротивления воздуха, и в результате эти тельца падают почти равномерно, со скоростью тем большей, чем больше их размеры.

Задача науки состоит в том, чтобы в бесконечном разнообразии явлений, сопровождающих всякий процесс, выделить точные законы, по которым отдельные физические агенты влияют на определенные элементы процесса. Затем важно установить, какие из этих законов на данной стадии процесса являются главными, какие—второстепенными и в какой степени нужно учитывать действие этих второстепенных факторов при попытке построить будущий ход процесса. Зная законы, регулирующие физическую жизнь нашей планетной системы, мы сможем проследить мысленно их действие вперед, в будущее, набросать дальнейшую судьбу мировых тел и, в частности, нашей Земли.

Совершенно таким же образом можно попытаться проследить историю мира назад, в прошлое, подобно тому, как астроном в своих формулах читает прошедшую историю вновь открытой кометы. Зная, как притягивают комету различные планеты в данный момент, мы можем определить действие этих притяжений на движение кометы за год, за два, за

десять лет до ее первого появления. Мы видим ясно, что если идти все дальше в прошлое, то форма пути, по которому движется наша комета, постепенно изменяется, описываемая ею кривая (орбита) становится, например, все более и более вытянутой. Продолжив наши вычисления достаточно далеко назад, мы дойдем до своего рода «начального положения» кометы: мы укажем, из какой части мирового пространства и по какой орбите вступила комета в область нашей планетной системы.

Конечно, воссоздание истории хотя бы только нашей планетной системы представляет неизмеримо более трудную задачу, чем задача небесной механики о движении одной единственной «материальной точки» — кометы. Для наброска даже самой общей схемы вероятного развития мира мы должны будем учесть хотя бы главнейшие физические силы и законы, управляющие явлениями природы. Можем ли мы утверждать, что все такие законы нам уже известны? Конечно, нет. Ведь в самые последние годы были открыты такие замечательные физические «агенты», как, например, лучи радия и световое давление, играющие важную роль в развитии мира, о которых раньше и не подозревали.

Таким образом наши космогонические очерки приходится начинать с заявления, что время для создания научной теории происхождения мира еще не наступило. Это сознавало и сознает большинство авторов космогонических теорий, но это их не останавливало. Человеческий разум во все времена требовал ответа на вопрос о происхождении вселенной, не считаясь с тем, достаточны ли уже наши знания для того, чтобы ответить на этот вопрос. И ответ человеческая мысль всегда находила, но какой ответ: в виде предположения, правда, научного, но все же предположения, которое может быть, конечно, и ошибочно. Такие предположения наука называет *гипотезами*. Каждому читателю этой книги необходимо, прежде всего, напомнить, что все описания происхождения мира, которые он встречал в книгах раньше или встретит после, все без исключения являются такими гипотезами. Они показывают не то, как вселенная образовалась в действительности, а только как она *могла бы* образоваться под действием тех естественных законов, которые были известны во время составления гипотезы. Каждая эпоха, каждый этап развития науки создают свои гипотезы. Теории, которые в свое время считались вполне научными, потом признаются

неверными и перерабатываются или заменяются новыми, более совершенными. Так всегда и развивается наука.

Но есть одна причина, по которой мы можем считать космогонические гипотезы, возникающие в наши дни, принципиально более близкими к истине, чем гипотезы уходящего научного периода. Дело в том, что последние гипотезы были основаны, как увидит читатель, почти исключительно на законе всемирного тяготения и являлись, таким образом, гипотезами *механическими*. Современные же гипотезы, возникающие на наших глазах, имеют *физический* характер. Они стремятся учесть все революционные открытия физики XX века, в частности, новый отдел науки, который называется «физикой атома». Правда, тот цикл космогонических вопросов, который для человечества представляет особый интерес,—именно, происхождение планет и нашей Земли—пока затронут этим течением сравнительно слабо. Но несравненно более важный в мировом масштабе вопрос о развитии звезд, т. е. главных тел вселенной, уже целиком вступил на новый путь. Как формулирует немецкий теоретик Эмден: «дорога к звезде ведет через атом». Таким образом мы имеем все основания надеяться, что в скором времени «научная космогония» займет в астрономии солидное положение, наряду со старыми, «классическими», отделами небесной механики и небесной физики, и мы сможем описывать рождение нашей Земли с такой же точностью и уверенностью, с какой уже теперь, например, геолог описывает историю какого-нибудь горного образования, возникшего миллионы лет назад.

Необходимо сделать еще одно замечание. Часто приходится встречать людей, которые, ознакомившись с какой-нибудь космогонической гипотезой, выражают неудовлетворение. Но это неудовлетворение не является критикой самой гипотезы: слабых мест ее такие читатели не видят, наоборот, они принимают все умозрения автора за доказанные научные истины. Они обыкновенно бывают недовольны тем, что гипотеза, по их мнению, дает слишком *мало*. Один из таких молодых читателей, возвращая мне книжку о космогонических теориях, сказал буквально следующее: «Теперь я *знаю*, как образовались из материи Солнце, Земля и планеты; дайте мне, пожалуйста, книжку о том, как произошла сама материя». Такой книжки нет и не будет, как не будет книжки о происхождении времени и пространства. Ведь материя, движущаяся в пространстве и времени, и есть самый мир, есть *вещь*

существующая «объективная реальность», и вопрос о ее происхождении не имеет смысла. Только, разумеется, наше теперешнее представление о материи сильно различается от представлений классического материализма. До недавнего времени считали, что материя состоит из *атомов*, мельчайших частиц, которые уже не могут быть раздроблены дальше, на еще более мелкие частицы. Атомы вечны и неизменны, ни один атом не может быть ни уничтожен, ни создан, они только соединяются и разъединяются в бесконечно разнообразных комбинациях. Это и есть закон сохранения материи, правильнее сказать,—закон *постоянства массы*, и до сих пор лежащий в основе всей лабораторной химии. Но теперь мы знаем, что атомы не являются последними «неделимыми» частицами, каждый из них представляет собой целую систему «электронов» и «протонов», т. е. частиц электричества. Электричество, таким образом, есть своего рода вещество, или можно сказать обратно: вещество частиц или полностью состоит из электричества. Возможен, следовательно, переход одного в другое, например распад вещества вследствие потери электронов (радий), и закон сохранения массы вещества в этих случаях, очевидно, требует оговорки.

Больше того, масса вещества и *энергия* теперь считаются эквивалентными, энергия «имеет массу». Например, данная масса вещества может превратиться в строго определенное количество энергии, вместо каждого грамма «исчезнувшей» массы должно появиться соответствующее количество единиц энергии,—закон *постоянства массы* объединяется с другим мировым законом—законом *сохранения энергии*.

Возможно, что наука в скором времени покажет, каким образом вещество (т. е. атомы) образовалось и образуется из более простой материи, например из электричества, лучистой радиации и т. д. Но это не будет описание «происхождения» материи, а опять-таки картина преобразования объективной мировой материи из одной более простой формы в другую, более сложную. Сама же материя существует вечно, не образуется и не уничтожается, а только переходит по точным количественным и качественным законам в различные формы.

В дальнейшем изложении мы вопросов о развитии материи, вообще, будем касаться лишь постольку, поскольку это будет нужно для нашей главной задачи—развития мировых тел из уже существующего вещества, на основании данных физических и химических законов.

2. УКАЗАНИЯ НА РАЗВИТИЕ В МИРЕ НЕБЕСНЫХ СВЕТИЛ

Среди свойств, которыми «небо» так резко отличается от «земли», едва ли не первым бросается в глаза величавое постоянство возвращения небесных явлений. Смена дня и ночи, возвращение времен года, изменения Луны протекают в наши дни совершенно так же, как тысячи лет назад, на заре человеческой истории. То же относится и к движению планет. Правда, точные наблюдения показывают, что полной неизменности в небесных движениях в сущности нет. Так, например, ось земного шара медленно изменяет свое направление (явление *прецессии*, или *предварения равноденствий*), благодаря чему нынешняя Полярная Звезда в будущем уступит свое место Веге, над нашим горизонтом взойдет созвездие Южного Креста, теперь невидимое, но зато скроется Орион. Изменяются также и пути, или «орбиты», всех планет: орбиты некоторых из них становятся мало-по-малу все более вытянутыми, или, как говорят, более эксцентрическими, орбиты других, наоборот, с течением времени все более приближаются к кругу; подвергаются медленным изменениям и другие величины, определяющие движение планет (так называемые элементы орбиты). Если бы эти изменения происходили все время *в одном и том же направлении*, то в будущем, хотя и очень отдаленном, они могли бы вызвать полное изменение и даже разрушение планетной системы. Возьмем, например, планету, орбита которой все более вытягивается. Если это изменение орбиты будет продолжаться неограниченное время, то орбита планеты, теперь близкая к кругу, делается когда-нибудь похожей на орбиту кометы. Планета в одной части своего пути (в «перигелии») будет чрезвычайно близко подходить к Солнцу, а в противоположной точке («афелии»), наоборот, будет удаляться от него на громадное расстояние. Поверхность ее, в связи с этим, будет попеременно то раскаляться лучами Солнца до самых высоких температур, то остывать до страшного холода. Для обитаемой планеты это повело бы к уничтожению жизни на ее поверхности.

Еще серьезнее опасность для тех планет, в движении которых наблюдается *ускорение* (как, например, у Сатурна). Очевидно, каждый следующий оборот такой планеты короче предыдущего; а так как, по известному закону Кеплера (см. главу 3), чем короче время обращения планеты, тем

меньше размер ее орбиты, то планета должна описывать, собственно говоря, постепенно скручивающуюся спираль. Через огромный, по все же конечный, промежуток времени она упала бы на Солнце, и вызванный этим падением чудовищный взрыв был бы концом планетной системы.

Все эти нарушения правильности планетных движений называются *неравенствами*, или *возмущениями*, и происходят, как известно, от действия планет друг на друга по закону всемирного тяготения. Основанная на этом законе великая наука, *небесная механика*, не только объяснила все наблюдаемые теперь возмущения, но определила также законы их действия как для будущего, так и для прошедшего времени. И вот оказалось, что все сколько-нибудь заметные неравенства (а их очень много)—*периодичны*. Это значит, что каждое возмущение действует попеременно то в одном, то в другом, прямо противоположном, направлении. Например, эксцентricность (т. е. вытянутость) орбиты может непрерывно возрастать в течение очень долгого времени—десятков тысяч лет; но затем увеличение эксцентricности прекратится и сменится уменьшением, которое будет продолжаться приблизительно столько же времени. В результате, орбита планеты примет опять свою прежнюю форму. Кроме того, так как орбита вытягивается медленно, то в течение периода своего неравенства она не успеет вытянуться сильно, и все изменения ее формы заключены в сравнительно узких границах.

Точно так же ускорение, которое наблюдается в движении Сатурна с конца XVI в., через сто лет исчезнет и сменится замедлением. Это—так называемое великое неравенство Юпитера и Сатурна, вызываемое взаимным притяжением этих двух планет (оно отражается и на движении Юпитера); его период свыше 900 лет. Периодичной оказалась и прецессия: через 25 000 лет ось земного шара, описав своим концом по звездному небу полный круг, опять будет указывать на созвездие Малой Медведицы, и наша теперешняя Полярная Звезда опять получит право на это название.

Таким образом, если мы заглянем в прошлое нашей солнечной системы настолько далеко, насколько это позволяют вычисления небесной механики, мы увидим почти в точности ту же картину планетных движений, что и теперь. Никакого заметного изменения, в ту или другую сторону, мы этим путем обнаружить не сможем. Впечатление неизменяемости всей системы, о котором мы говорили в начале этой главы,

усиливается все больше, и можно, пожалуй, задать вопрос: не было ли бы проще всего допустить, что наша планетная система всегда имела одно и то же строение, что вся материя в ней всегда была сосредоточена в одном большом шаре—Солнце—и в немногих меньших шарах—планетах, отделенных и от Солнца и друг от друга громадными пустыми пространствами? Сейчас мы увидим, что такое предположение совершенно несостоятельно, и не только потому, что оно противоречит всеобщему глубокому убеждению в изменчивости и развитии всего существующего в мире.

Основным фактом, с которого начинают, вероятно, все космогонические теории, является замечательная правильность строения планетной системы. Все планеты (а их известно уже свыше тысячи) движутся вокруг Солнца почти в одной плоскости по орбитам, близким по форме к кругу, и, что самое главное,—все движутся по одному и тому же направлению, именно, в ту сторону, в какую вращается Солнце около своей оси. Это не может быть случайностью, а указывает на какую-то общую физическую причину. Но в настоящее время между планетами не существует никакой вещественной связи, которая принуждала бы их двигаться в одном направлении; следовательно, такую связь надо искать в прошлом планетной системы. Она может заключаться в том, что вещество, теперь сосредоточенное в сравнительно немногих плотных телах—планетах и их спутниках, когда-то заполняло все пространство солнечной системы. Другими словами, одинаковое движение всех частей системы указывает на *общность* их происхождения, на образование всей планетной семьи из одного «клубка» разреженной материи, из какого-то «хаоса». Космогонические теории и должны показать, как под действием физических законов из этой хаотической массы возникли небесные светила и наша Земля.

Другое указание на неизбежность громадных изменений в нашей системе дает Солнце. Наука геология говорит нам, что уже в течение многих миллионов лет Солнце освещает и согревает поверхность Земли с такой же силой, как и в настоящее время. Миллионы лет оно непрерывно излучает в мировое пространство колоссальные количества тепла и света, и вся эта «лучистая энергия», как ее называют, обратилась на Солнце не возвращается. Мы знаем теперь, что энергия не может создаваться вновь, а непременно должна получаться за счет какой-нибудь другой энергии. Поэтому громадный

расход солнечной теплоты должен непрерывно пополняться из какого-то источника. Этот вопрос—об источниках солнечной теплоты—является одним из важнейших вопросов мироздания, но, как бы он ни разрешался, ясно одно: никакие источники не могут поддерживать теплоту Солнца вечно, неизбежно настанет время, когда теплота его заметно уменьшится и, наконец, оно совсем погаснет. И обратно: в прошлом Солнце было горячее, чем теперь, имело другие размеры и другие физические свойства, и в соответствии с этим и физические условия всей нашей системы были иными. Таким образом Солнце должно изменяться, проходить в течение своей «жизни» тот или иной путь развития, и его история теснейшим образом связана с историей нашей Земли.

Громадная важность вопросов, связанных с жизнью Солнца, заставляет нас искать других фактов для познания его жизни, кроме данных, получаемых в физических лабораториях. Эти данные доставляет нам *звездное небо*. Мы знаем теперь, что каждая из миллионов звезд есть солнце, подобное нашему Солнцу по размерам и физической природе; многие из этих отдаленных солнц даже гораздо больше нашего Солнца по размерам и массе, имеют гораздо большую яркость и более высокую температуру. В настоящее время физические свойства многих звезд изучены почти так же хорошо, как и свойства нашего Солнца, и пролит некоторый свет на их историю. Конечно, наблюдая *одну* какую-нибудь звезду, мы смогли бы заметить ее эволюцию только через громадный промежуток времени, не меньший, чем для Солнца; но исследование множества звезд может помочь нам составить представление о развитии звезд вообще. Руководящей мыслью при этом является идея Вильяма Гершеля, который сравнивал звездное небо с лесом, содержащим деревья всевозможных возрастов. В таком лесу ботаник получает возможность изучить сразу все развитие какого-нибудь вида, так как в его распоряжении имеются одновременно экземпляры, переживающие в данный момент самые различные возрасты жизни дерева—от прорастания до засыхания. Мысль Гершеля кажется очень убедительной и плодотворной. Действительно, на небе мы встречаем звезды различного цвета, различной яркости и температуры, образующие непрерывную правильную последовательность. От голубовато-белых звезд, более белых и горячих, чем наше Солнце, мы постепенно можем перейти сначала к желтым, а затем к красным звездам, температура которых, несомненно, много

ниже солнечной температуры. Естественно было принять, что белые звезды являются самыми молодыми, сравнительно недавно сформировавшимися солнцами, а красные звезды, наоборот, представляют собой стареющие светила, близкие к окончательному потуханию. Мы увидим впоследствии, что в действительности дело обстоит гораздо сложнее, что в определении возраста звезд делались самые неожиданные ошибки, которые были замечены сравнительно недавно. За последнее время изучение развития звезд сделало громадные успехи, поставившие этот отдел космогонии почти наравне с другими хорошо разработанными отделами точной науки. Скажу теперь же, что изучение развития звезд оказалось очень полезным для уяснения истории Солнца, ю, к сожалению, пока только одного Солнца, а не всей солнечной системы. Почти никаких новых указаний на происхождение планет звездная астрономия XX в. еще не дала и, таким образом, не подвинула вперед разрешения именно того вопроса, который всегда особенно интересовал нас, жителей одной из этих планет. Об этом будет подробно сказано в другом месте.

Накопец, наблюдения над звездным миром открыли в отдаленнейших областях вселенной кроме звезд еще образования совершенно особого рода, в которых сейчас же поспешили признать «начало всех начал», или «первозданный хаос» древних космогоний. Это—*туманности*, размытые, слабо светящиеся пятна, которые представляют собой, как теперь известно, гигантские облака пыли и разреженных газов. Правда, и здесь картина не так проста, как думали прежде: туманности имеют очень различную природу, и некоторые из них теперь кажутся более загадочными, чем сто лет назад. Тем не менее важное значение туманностей в образовании миров не подлежит сомнению, и нет почти ни одной космогонической гипотезы, в которой бы они не играли той или другой роли (фиг. I и II в конце книги).

Упомянем еще о других небесных явлениях, которые могут дать указания на развитие вселенной. В прежние времена большое внимание уделяли в этом отношении так называемым *новым* звездам, которые иногда внезапно появляются в том или другом созвездии. В них видели настоящее «творение из ничего», рождение нового солнца, новой солнечной системы. Но теперь известно, что эти звезды—далеко не «новые». Они существовали на тех же местах неба и до своей внезапной вспышки, но в виде очень слабых звезд. Проблистая

несколько месяцев, они постепенно слабеют и возвращаются опять к прежней яркости, но далеко не к прежнему состоянию. Внезапное усиление блеска такой звезды (в десятки тысяч раз в течение немногих часов) является взрывом, страшной катастрофой, время от времени постигающей то одно, то другое из далеких солнц. Это не рождение, а скорее гибель прежнего мира, какое-то внезапное, скачкообразное изменение. Но вечный круговорот жизни, который мы видим на Земле, заставляет нас искать его и в мире небесных светил. Смерть старой мировой системы может дать начало жизни нового мира, и поэтому явление новых звезд играет некоторую роль в космогонических теориях.

Появление новых звезд превосходит своей грандиозностью все, что только мы можем себе представить. Это случается довольно часто и представляет собою, по видимому, довольно обычное явление в развитии миров. Однако как часто бывает в жизни природы, такие громадные, но случайные катастрофы производят, в конечном счете, меньшие результаты, чем какая-нибудь незаметная маленькая сила, действующая непрерывно в одном направлении в течение громадных периодов времени. «Капля, долбящая камень» — вот пример такой силы, вошедший в поговорку. Что это не простая фраза, об этом свидетельствует геология: за миллионы лет земной истории: атмосферные осадки, вместе с выветриванием, стерли с лица земли громаднейшие горные хребты и продолжают и теперь свою разрушительную работу, результаты которой, однако, совершенно незаметны в течение человеческой жизни. Такие силы должны действовать и при образовании небесных светил, но их очень легко упустить из вида, так как влияние их может сказаться только через огромные промежутки времени. Весьма вероятно, что ряд таких деятелей природы нам еще неизвестен, так как некоторые важные мировые агенты были указаны лишь в последнее время.

Так например, очень большую роль в мироздании играют, по видимому, падающие звезды, или *метеоры*, — такое повседневное, всем привычное явление. Они говорят нам о том, что в междупланетном пространстве носится неисчислимое количество мельчайших мировых тел, так называемой космической пыли. Каждое появление падающей звезды указывает на столкновение нашей Земли с одной из таких песчинок, столкновение, обыкновенно гибельное для последней. Вследствие страшного удара о земную атмосферу метеор

большую частью мгновенно сгорает уже на высоте многих десятков километров. Лишь немногие, сравнительно крупные, тела долетают до земной поверхности в виде всем известных метеоритов, падение которых всегда вызывает так много разговоров. Эти метеориты вносят свою долю в образование земной коры, точно так же, как обыкновенные падающие звезды присоединяются к составу земной атмосферы в виде газов и пыли, получившихся при их сгорании. И в том и в другом случае все вещество метеоров остается на Земле. Правда, массы громадного большинства метеоров ничтожны, но если вспомнить, как много падающих звезд можно видеть каждую ночь с любого места любой поверхности, и подсчитать, сколько приблизительно их должно падать на всю Землю, то получаются совершенно неожиданные цифры. Общая масса вещества, приносимого метеорами на Землю, составляет по меньшей мере несколько десятков тысяч тонн в год. На такую величину (ничтожную в сравнении с весом Земли) увеличивается масса Земли ежегодно. Допустим, что метеорная материя сыплется уже в течение многих миллионов лет и не только на поверхность нашей Земли, но и на поверхность всех тел солнечной системы; возможно, что прежде ее падение совершалось даже более обильно; при этих, весьма вероятных, предположениях, космическая пыль становится мировым элементом величайшей важности, материалом, из которого, быть может, образовались светила.

Приведем еще один пример причины, действие которой абсолютно незаметно даже в течение столетий, но становится громадным за время существования планет; это так называемое *приливное трение*, занимающее важное место в современных теориях. О нем подробно будет сказано в главе 7; теперь же заметим только, что прилив, вызываемый нашей Луной в земных океанах, сопровождается трением, которое само по себе ничтожно. Действуя в течение десятков миллионов лет, эта постоянная тормозящая сила должна замедлить суточное вращение Земли вокруг оси, а также вызвать и другие изменения в нашей системе. Учение о так называемой приливной эволюции составляет одну из интереснейших теорий современной астрономии.

После этих вступительных общих замечаний мы перейдем к изложению наиболее важных космогонических гипотез, придерживаясь исторического порядка.

3. ЗАКОН ТЯГОТЕНИЯ КАК ОСНОВА КОСМО- ГОНИЧЕСКИХ ГИПОТЕЗ

Над вопросом о происхождении и судьбе мироздания задумывались выдающиеся исследователи всех времен и решали его каждый сообразно со своим представлением о вселенной и ее законах. Но как бы ни были велики проникательность и остроумие даже гениального мыслителя, все его построения окажутся ошибочными, если они не основаны на знании истинных физических законов. Известно, как ничтожны были знания древних по физике и, в частности, по механике, как ошибочны были их представления о действии сил, о тех движениях, которые они вызывают. Только Галилей (1564—1642 гг.) в начале XVII века выяснил основные законы *динамики* (т. е. учения о движении тел под действием сил) и разобрался в простейших случаях движения, которые наблюдаются на *Земле*, как то: падение тел и качание маятника. Вопрос же о том, какие силы управляют движениями в *небесном пространстве*, оставался совершенно без ответа почти до конца столетия. Поэтому все теории происхождения мира, появлявшиеся с древнейших времен до начала XVIII века, не имеют научной ценности, так как создатели этих теорий не имели никакого представления о силах, действующих в междупланетном пространстве.

Учение о небесных движениях сделало к концу XVII столетия громадные успехи, но истинная сущность этих движений должна была представляться вдумчивым наблюдателям, пожалуй, более темной, чем в древности. Сложный механизм хрустальных сфер, которым когда-то объяснялись обращения планет, был разрушен без остатка, и место его, к концу XVI века, заняла следующая система мироздания, данная *Коперником* (1543). Около гигантского неподвижного Солнца, на громадных расстояниях друг от друга, обращаются сравнительно небольшие планеты, к числу которых принадлежит и наша Земля. Движения планет оказываются очень сложными: они, прежде всего, неравномерны, одна и та же планета в разных точках своей орбиты движется с различными скоростями; орбиты планет, как и в древности, признаются кругами, но центры этих кругов не совпадают с Солнцем, не совпадают и друг с другом, так что каждая планета обращается, в сущности, около своего особого центра, находящегося недалеко от Солнца, но не в Солнце. Таким

образом это светило не играет в движениях планет никакой механической роли; по Копернику Солнце—только «светильник мира», только поэтому оно и находится в середине планетной системы, т. е. в таком месте, откуда оно лучше всего может выполнять свое назначение—освещать и согревать планеты.

Такова система Коперника. По сравнению с господствовавшей до нее системой Птолемея она сделала громадный шаг вперед—именно установила *движение Земли*, которая, по Копернику, из центрального тела вселенной стала рядовой планетой. Чтобы сделать этот буквально головокружительный шаг, нужно было быть поистине «человеком свободного духа», как назвал Коперника его великий продолжатель

Кеплер. Но его картина мира сохранила главное положение древней астрономии, что небесным телам свойственно двигаться только *по кругам*; поэтому во всех тех случаях, когда светило явно отклонялось от кругового пути, считали возможным объяснить такое отклонение только введением добавочных кругов (эпициклов). Только гений Кеплера, истинного создателя новой астрономии, распутал клубок эпициклов и поставил на его место знаменитые *законы*, замечательные по простоте и «гармоничности» (Кеплер так и озаглавил свое главное сочинение: «Гармония мира», 1618 г.).

Приводим формулировку этих законов, так как дальше нам часто придется на них ссылаться.

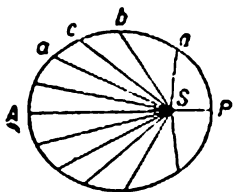
Приводим формулировку этих законов, так как дальше нам часто придется на них ссылаться.

ЗАКОН I. *Орбита каждой планеты есть эллипс, в одном из фокусов которого находится Солнце.*

Как известно, эллипсом называется кривая линия, обладающая тем свойством, что сумма расстояний каждой ее точки от двух данных точек («фокусов») есть величина постоянная. Прямая линия, соединяющая какую-нибудь точку эллипса с фокусом, называется радиусом-вектором. Половина наибольшего диаметра эллипса AP есть *среднее расстояние* планеты от Солнца S (черт. 1).

Этот закон определяет истинную форму планетных орбит.

ЗАКОН II. *Радиус-вектор каждой планеты описывает в равные промежутки времени равные площади.*



Черт. 1. Второй закон Кеплера. Все площади $PSa, aSb...$ равны между собой, следовательно, все дуги $Pa, ab...$ проходятся в одно время.

Этот закон дает *математическое* правило вычисления скорости планеты в любой точке ее пути. Например, площадь, описываемая в одни сутки близ перигелия *P* (т. е. ближайшей к Солнцу точки орбиты), должна быть равна площади, описываемой в тот же промежуток времени у афелия *A* (самой далекой точки); очевидно, что так как радиус-вектор во втором случае больше, то, для сохранения равенства площадей, дуга, пройденная планетой, должна быть меньше (черт. 1). Таким образом движение планеты тем медленнее, чем она дальше от Солнца, и между расстоянием и скоростью существует простая математическая зависимость.

ЗАКОН III. *Квадраты времён обращения планет относятся, как кубы их средних расстояний от Солнца.*

Например, Юпитер в 5,2 раза дальше от Солнца, чем Земля, следовательно, и длина описываемой им орбиты во столько же раз больше. Но проходит он ее не в 5,2 года, а дольше, именно в 11,86 года, стало быть, движется *медленней* Земли. Оказывается, что $11,86^2 = 5,2^3$ ¹. Такая же зависимость существует между расстояниями и временами обращения всех планет и связывает их в одну семью, очевидно, управляемую каким-то общим законом.

Этот единый закон, объясняющий движение планет, знаменитый французский философ Декарт (1596 -- 1650 гг.) видел в действии гигантского *вихря*. По его представлению, Солнце окружено невидимой «жидкостью», которая наполняет все пространство планетной системы и вращается благодаря вращению Солнца. В этом вихре и кружатся планеты, как кружатся листья и пылинки в вихрях нашей атмосферы. Теория Декарта имела то достоинство, что она объясняла движения планетной системы вполне «наглядным» образом, так как водовороты и воздушные вихри всем знакомы и кажутся совершенно понятными. Но Декарт не мог дать ответа на вопрос, почему увлеченные вихрем планеты движутся по кеплеровым законам; поэтому его теория скоро была признана несостоятельной.

Новая эпоха в науке начинается с англичанина Ньютона (1643 -- 1727 гг.), который разгадал тайну математической правильности кеплеровых законов. Он показал, что все движения небесных тел, до мельчайших подробностей, объяс-

¹ Действительно . . . $11,86 \times 11,86 = 140,6$,
но также . . . $5,2 \times 5,2 \times 5,2 = 140,6$.

яются одной причиной, той самой, которая управляет падением тел на Земле.

Было математически доказано, что «падение яблока» с дерева и движение Луны вокруг Земли представляют, в сущности, одно и то же явление, подчиненное одному и тому же закону. Этот закон есть великий закон *всемирного тяготения*, необыкновенно простая математическая формула, из которой вытекают, как следствие, не только законы Кеплера, но и все бесчисленные явления планетных, кометных, звездных движений, как уже раньше известные, так и открытые позже. Эти движения происходят так, *как будто* все тела природы взаимно притягивают друг друга с силой, «обратно пропорциональной квадрату расстояний и прямо пропорциональной массам».

Почему мы сказали: «как будто притягивают»? Разве притяжение камня Землей или Земли Солнцем не похоже на притяжение между магнитами или электризованными телами? Ведь все эти притяжения происходят по одному и тому же закону, именно, обратно пропорционально квадрату расстояний. В действительности же сходство между этими силами чисто внешнее, формальное. Мы не можем, конечно, утверждать, что нам уже известна сущность электрического или магнитного притяжения. Но существуют гипотезы, которые при данном состоянии науки удовлетворительно объясняют, например, взаимодействие двух магнитов. Для тяготения же никогда не было придумано сколько-нибудь удовлетворительной гипотезы, так как оно обладает такими свойствами, каких не имеет ни одна сила природы.

Прежде всего, от тяготения нельзя укрыться. Для всех остальных сил природы существуют преграды, заслонки, которыми можно влияние этих сил ослабить или совсем уничтожить. Для силы тяготения таких преград не существует, для нее все тела абсолютно прозрачны. Это доказывается не только физическими опытами, но в еще более грандиозном масштабе астрономическими наблюдениями. Например, бывают случаи, когда между Солнцем и Луной на несколько часов становится чрезвычайно массивная заслонка в 12000 км толщиной, именно наша Земля. Понятно, что она задерживает световые лучи, идущие от Солнца, и Луна на некоторое время становится темной, наступает лунное затмение. Но для «лучей тяготения» тело Земли оказывается совершенно прозрачным, притяжение Солнца действует на

Луну «сквозь земной шар» в точности так же, как через пустое пространство, и в движении Луны во время затмения нельзя обнаружить ни малейшего отклонения.

Еще замечательнее и важнее полное, если можно так выразиться, безразличие силы тяготения к физическим и химическим свойствам притягиваемых тел. На бесконечно сложное и бесконечно изменяющееся живое тело человека тяготение действует совершенно с той же силой, как и на чугунную болванку, если у обоих этих тел одинаковая масса. Только от массы, т. е. от количества вещества в теле, и зависит тяготение (разумеется, при равных расстояниях). На этой зависимости тяготения от массы и основана знаменитая, очень сложная теория Эйнштейна, так называемый общий принцип относительности. Изложение принципа относительности не входит в задачу нашей книги. Заметим только, что по теории Эйнштейна тяготение не представляет собой одну из сил, действующих между телами, подобно силам электрическим, магнитным, молекулярным, а является первичным свойством материи, лежащим в основе всех движений. Это свойство материи, которое называют тяготением, теория относительности связывает с другим свойством — инерцией, т. е. «способностью тел сохранять свое состояние покоя или прямолинейного равномерного движения». По словам Эддингтона, «инерция и тяготение являются двумя составными частями, на которые произвольно разлагают некоторое единое свойство». Дальше углубляться в эти труднейшие вопросы не имеет смысла, и приходится, при настоящем состоянии науки, рассматривать тяготение как «действие на расстоянии», которое неизбежно появляется между каждыми двумя частицами материи и выражается в притяжении одной частицы другою. Самое же это понятие «притяжение», заимствованное из деятельности мускульной силы человека, конечно, теряет свой буквальный смысл, если его прилагать к мертвой материи.

Введение в науку силы всемирного тяготения создало ту астрономическую картину мироздания, которую называют *системой Ньютона*. В беспредельном пустом пространстве носятся тяжелые шарики разной величины, отделенные друг от друга громадными расстояниями. Между ними нельзя обнаружить никакой материальной связи; но все они связаны в одно целое, в одну механическую систему, силами взаимного притяжения, без которого отдельные члены си-

стемы разметелась бы в разные стороны. Эта сила настолько хорошо объясняет все небесные движения, что она, можно сказать, вошла в плоть и кровь современного точного знания; мы сроднились с ней и не замечаем ее совершенно исключительных свойств.

Введение в науку закона тяготения составляет грань и в интересующем нас отделе научной мысли, в области космогонических гипотез. С открытием силы притяжения такие гипотезы приобрели некоторый научный фундамент, которого совершенно не имели гипотезы до-ньютоновской эпохи. Поэтому на последних мы останавливаться вовсе не будем, хотя среди них встречаются и очень интересные и содержательные умозрения.

4. БЮФФОН И КАНТ

От Ньютона не ускользнула замечательная закономерность в строении солнечной системы, состоящая в том, что все движения в ней совершаются почти в одной плоскости и в одном и том же направлении. Но так как он отвергал существование какой-либо среды, которая могла бы втянуть планеты в свое вихреобразное движение, то эта закономерность ему казалась совершенно необъяснимой никакими физическими причинами. Он видел в ней дело всемогущего разумного существа, установившего этот порядок при сотворении мира. Таким образом вопреки своему заявлению «*hypoteses non fingo*» (я не придумываю гипотез) Ньютон на этот раз прибег к помощи гипотезы, и притом наихудшей, какую только можно себе представить, к гипотезе, которая содержала отказ даже от попытки научного объяснения.

Такая попытка была сделана в 1745 г. знаменитым французским натуралистом Бюффоном. Он обратил внимание прежде всего на то обстоятельство, что общая масса (или вес) всех планет составляет лишь ничтожную долю массы Солнца (менее $\frac{1}{750}$). Следовательно, для объяснения образования планет достаточно допустить, что какая-то сила в давно минувшие времена оторвала от Солнца незначительную часть его вещества. Такой силой могла быть сила удара. И вот Бюффон рисует перед своими читателями картину великой мировой катастрофы: громадное небесное тело — «комета», как он его называет, — ударяет в неподвижное (не

вращающееся) Солнце, причем удар направлен косо, почти по линии, касательной к солнечной поверхности. В результате полученного бокового толчка шар Солнца начинает вращаться около некоторой оси и, кроме того, от поверхности шара отделяются мелкие осколки, которые будут обращаться в том же направлении в плоскости, перпендикулярной к оси вращения шара. Кроме того, самые осколки получают, от того же толчка, и вращательные движения (вращение планет около осей), а мелкие осколки, отделившиеся от более крупных, станут обращаться вокруг последних (спутники планет). Оба тела, и Солнце и комету, Бюффон считает, повидимому, твердыми, что не соответствует действительности; в частности, его «комета» является, собственно говоря, «планетой» гигантских размеров.

Гипотеза Бюффона хорошо объясняет факт одинакового направления обращений планет и вращения Солнца, но в других отношениях она встретила затруднения, которые в то время казались непреодолимыми. Именно, Лаплас указал, что осколки, выброшенные с Солнца, сперва отделились бы от него, а затем, описав эллиптическую орбиту, опять упали бы на солнечную поверхность. Так было бы, правда, только в том случае, если бы осколки во время своего пути не сталкивались и не притягивали друг друга. Эти притяжения и столкновения могли бы значительно изменить их движение, так что в своих перигелиях (т. е. в самых близких к Солнцу точках орбиты) частицы могут и не задеть Солнца. Но орбиты все равно должны были бы остаться сильно эксцентрическими (выгнутыми); в действительности же планетные орбиты близки к кругам. Никакого пути для превращения эллиптических орбит в круговые небесная механика XVIII века указать не могла. Поэтому после критики Лапласа гипотеза Бюффона на целое столетие сошла со сцены. Но теперь его идеи возродились, и мы увидим в дальнейшем изложении, что гипотеза встречи двух светил, в виде ли *столкновения* их или же только *тесного сближения*, играет большую роль в самых новейших теориях происхождения нашей системы.

Через десять лет после гипотезы Бюффона в Германии была издана книга без имени автора, под заглавием: «Общая естественная история и теория неба, или опыт об устройстве и механическом происхождении всего мироздания на основании ньютоновых законов» (1755 г.). Автором

этого сочинением был молодой кенигсбергский учитель Имануил Кант (1724—1804 гг.), впоследствии знаменитый философ, основатель так называемой критической философии.

Мы видели, что Бюффон начинал свои рассуждения с сравнительно очень поздней эпохи космической истории, именно с того времени, когда Солнце и кометы приобрели уже приблизительно свое теперешнее состояние. Кроме того, он ставил себе (как настоящий естествоиспытатель, заметим) ограниченную задачу—объяснить естественными причинами только происхождение планет. Кант ставит вопрос гораздо глубже. Подобно многим прежним мыслителям, он развивает теорию, что вся вселенная образовалась из некоторого простейшего начального состояния, из чего-то вроде хаоса древних космогоний; в качестве своих предшественников он сам называет некоторых греческих философов. Создание хаоса он приписывает божеству, но этим роль божества и ограничивается. Он утверждает, что все явления, которые считались большинством ученых того времени за результаты «непосредственного вмешательства высшего существа», могут быть произведены «природой, предоставленной себе самой», посредством действия механических причин, сил, присущих самой материи. Эту свою основную мысль он выразил кратко в виде знаменитого изречения: «дайте мне материю, и я вам из нее построю мир», т. е. дайте мне материю и силы, управляющие ее движениями, и я вам покажу, как из нее должен был образоваться мир.

О каких же силах здесь идет речь? Кант хорошо изучил «философию Ньютона», глубоко проникся ее главной идеей, и у него явилась гениальная мысль, что та же самая сила *всемирного тяготения*, которая теперь управляет движением планет, когда-то была в состоянии собрать материю, рассеянную в мировом пространстве, и образовать из нее не только нашу солнечную систему, но и весь звездный мир. Во время Канта было известно шесть планет и девять спутников, которые все движутся в одном направлении и приблизительно в одной плоскости. Кант, кроме того, знал, что пространство между планетами не содержит материи, по крайней мере, в таком количестве, чтобы она могла оказывать влияние на движение небесных тел и направлять все их обращения в одну сторону. Поэтому Кант заключает, что когда-то это междупланетное пространство не было пусто, а было наполнено материей, которая передала дви-

жение всем находившимся в ней телам и сделала «их движения одинаковыми с ее собственным движением, а следовательно, и между собою». Материя эта представляла собой все то вещество, из которого впоследствии сформировались Солнце, планеты и кометы. Оно находилось в самом простом, самом элементарном состоянии, какое только возможно, но оно не было однородно: это был настоящий хаос, в котором были перемешаны частицы всевозможных родов, обладающие самой различной плотностью и разной силой притяжения. Частицы хаоса Кант представляет себе, повидимому, твердыми, так что его начальное состояние мира близко подходит к скоплению «космической пыли», или к «метеорному рою» современной астрономии. В некоторый начальный момент (в момент «творения») все частицы хаоса были неподвижны, но этот покой мог продолжаться только одно мгновение: более плотные частицы начнут притягивать к себе окружающую менее плотную материю по закону всемирного тяготения. Получившиеся таким образом сгущения, в свою очередь, притягивают друг друга, меньшие массы притягиваются к большим и соединяются с ними, и мало-по-малу вся начальная «пыльная» туманность превращается в сравнительно небольшое число массивных шарообразных тел—звезд или солнц.

Таким образом каждый «центр притяжения», в конце концов, притянет к себе всю материю, находящуюся внутри той области, в которой его притяжение перевешивает притяжение других центров (внутри его так называемой сферы действия). Поэтому в нашей области вселенной должен был получиться, в конце концов, один *необращающийся* громадный шар—наше Солнце. Единственное движение, каким он мог бы обладать, это—«падение» к другому, еще более мощному центру притяжения, с которым ему было бы суждено столкнуться в более или менее близком будущем и этим закончить свое самостоятельное существование. Откуда же, в таком случае, вращение этого шара и откуда эти меньшие шары, планеты, кружащиеся вокруг центрального тела? Для ответа на этот вопрос Кант привлекает, кроме силы притяжения, еще отталкивательные силы, которые проявляются при чрезмерном сближении частиц. Эти силы мы бы теперь называли силами упругости; благодаря их действию, две частицы, столкнувшиеся при своем движении, не сливаются в одну частицу, а отталкиваются друг от друга, и в резуль-

тате такого столкновения путь каждой из них может потерпеть значительное отклонение. Частицы, падающие к центру притяжения, сталкиваются друг с другом и получают вследствие этого еще и боковые движения, направленные, понятно, самым различным образом. Одно из направлений случайно оказывается наиболее частым; оно получает перевес, все большее число частиц втягивается в это движение и, в конце концов, вся масса вещества приходит во вращение. При этом значительное число частиц все-таки продолжает почти беспрепятственно падать к центру, и там образуется громадное сгущение веществ, центральный комок—будущее Солнце, вращающееся в том же направлении. Лишь сравнительно небольшая часть вещества остается вне центральной массы и дает начало планетам.

Охваченная вращением туманность не сохраняет шарообразной формы: частицы ее с течением времени собираются около экваториальной плоскости (т. е. плоскости, проходящей через центр системы и перпендикулярной к оси вращения); механизм этого «сжатия» Кантом изложен довольно неясно, хотя самое соображение по существу правильно. Таким образом получаются вращающееся центральное тело—Солнце—и плоская туманность, или метеорный рой, расположенная приблизительно в плоскости солнечного экватора. Если теперь мысленно выделить из туманности сравнительно небольшую часть, то все частицы в этой области будут двигаться по параллельным путям, без столкновений, и можно приблизительно принять, что относительно друг друга они находятся в покое. Поэтому начинают сказываться взаимные притягательные силы частиц, возникают новые центры притяжения, так сказать, «зародыши планет», к которым постепенно собирается все окружающее вещество. Так возникают планеты. Если бы центры сгущения образовались все в плоскости экватора вращающейся туманности, то все планеты обращались бы в одной плоскости; тем обстоятельством, что зарождение планет начиналось на различных расстояниях от этой плоскости, Кант объясняет происхождение наклонов планетных орбит. Подобными же соображениями он пытается объяснить и отступление орбит от правильной круговой формы. Так как при образовании планет повторяется в уменьшенном виде то же, что происходит при образовании Солнца, то планеты, подобно Солнцу, приобретают вращение вокруг осей, и так же, как

вокруг Солнца, около них образуются небольшие тела—спутники, движущиеся в том же направлении.

Гипотеза Канта явно несостоятельна в своем главном пункте: в объяснении причины вращения туманности (не говоря уже о сохранении «творца материи»). Законы механики говорят нам, что общая сумма всех вращательных движений в системе, не зависящей от других систем, не может измениться от действия каких бы то ни было внутренних причин. Поэтому, если вначале вращательные движения в туманности отсутствовали, то они не могли появиться от взаимодействия частиц туманности, и обратно—если они теперь наблюдаются, то они должны были существовать в тех же размерах с самого начала.

Принято думать, что гипотеза Канта почти совпадает со знаменитой теорией Лапласа, появившейся на сорок лет позже. Что это совершенно неправильно, мы увидим при изложении гипотезы Лапласа; пока же отметим только, что у Канта отсутствуют такие характерные особенности гипотезы Лапласа, как постепенное сжатие всей туманности и отделение от нее колец. Интересно, впрочем, что кольца Сатурна (фиг. III) Кант объясняет способом, очень близким к тому способу, какой Лаплас дает для происхождения всей системы. Кант предполагает, что вся масса вещества, которая теперь составляет тело планеты и ее кольца, имела в прошлом больший объем и вращалась вокруг оси как одно целое. Когда же она впоследствии сжалась, то ее внешние части приобрели слишком большую скорость и поэтому не присоединились к центральной массе (не упали на планету), а продолжали обращаться на своих первоначальных расстояниях и образовали собрание *мелких спутников*, которые мы и называем кольцами Сатурна; каждый из этих спутников, невидимых нами отдельно, обращается вокруг планеты по законам Кеплера, т. е. в различное время, в зависимости от расстояния. Как известно, эта мысль Канта впоследствии была блестяще подтверждена наблюдениями. Такое же кольцо, по его предположению, могло существовать в прежние времена и вокруг Земли, но потом оно разрушилось и упало на ее поверхность. Подтверждение своей гипотезы Кант желает видеть—несколько неожиданно для современного читателя—в сказаниях о всемирном потопе: кольцо могло состоять из водяных паров, и его внезапное падение на землю и было причиной этой великой катастрофы. Такого рода псевдонаучные

рассуждения нередко встречаются у писателей того времени, когда церковь и библия были еще великими авторитетами даже в глазах образованных людей.

Гипотеза Канта о происхождении планетной системы теперь не имеет научного значения. Но его книга и сейчас представляет громадный интерес по богатству, глубине и смелости идей, разбросанных на ее страницах. Такова мысль о роли «приливного трения», получившая такое широкое развитие в последнее время, такова картина звездной системы, в которой звезды, подобно планетам, обращаются вокруг гигантского «центрального солнца», и особенно—величественные идеи о рождении, гибели и новом возрождении вселенной. На этих последних соображениях стоит остановиться.

В бесконечном пространстве вселенной содержится бесконечное количество материи, находившейся вначале в состоянии бесформенного хаоса. В какой-то точке, где случайно вещество было особенно сгущено, начинается формирование небесных тел—звезд и планетных систем. Постепенно распространяясь во все стороны, этот процесс образования миров захватывает с течением времени все большее пространство. Кант допускает, что наша солнечная система находится недалеко от этого «центра природы»; поэтому мы видим по всем направлениям уже сформировавшийся звездный мир, но за его пределами находятся еще хаотические массы. Так как область сформировавшейся природы непрерывно расширяется, то через «миллионы столетий» из этих хаотических элементов образуются новые звездные системы. Но эта сфера образовавшейся природы всегда будет составлять только бесконечно-малую часть целого: «творение никогда не прекратится».

Но рождение новых миров в одной части вселенной постоянно сопровождается гибелью старых. Из того же центра, в котором началось образование миров, пойдет во все стороны волна их смерти. Поэтому организованный мир находится между развалинами разрушенных миров и хаосом еще не сформировавшейся природы. Для нашей солнечной системы смертью будет, конечно, потухание Солнца, которое Кант, как и все его современники, считал просто горящим шаром. «Скопление нестерпаемой и перегоревшей материи,—говорит он,—например, пепла, на его поверхности, наконец, недостаток воздуха поставят Солнцу предел, так что его пламя должно будет когда-нибудь угаснуть, а его место, которое является теперь средоточием света и жизни, займет вечный

мираю. Кант не может примириться с этим выводом о гибели мироздания. Он верит, что «природа, которая смогла из хаоса привести себя в закономерный порядок и стройную систему, будет также в состоянии из нового хаоса, в который повергло ее уменьшение ее движений, столь же легко вновь восстановить себя и возобновить бывшие связи». Такое восстановление для планетной системы Кант усматривает в падении планет на Солнце. И эта идея Канта в той или другой форме рассматривается современной наукой. Только мы теперь, при обсуждении такой катастрофы, главное внимание обращаем на самое падение тела, на «живую силу» удара, которая, как мы знаем, превращается в теплоту, и вычисляем развившееся при этом тепло по правилам физики. Во времена Канта мысль о превращении движения в теплоту еще, повидимому, никому не приходила в голову; для него главное значение имеет здесь упавшее на Солнце *вещество*, которое своим горением должно поддержать угасающее пламя Солнца. Вследствие прилива новых горючих материалов пламя это вспыхнет с такой силой, что все вещество Солнца опять рассеется на громадном пространстве и образует новый хаос, из которого опять возникнет новая планетная система. Можно представить себе, что эта игра повторится не раз, что она захватит все солнечные системы нашего звездного мира и что, наконец, она повторится в неизмеримо грандиозном масштабе: все солнечные системы Млечного Пути упадут на «центральное тело», и в величайшем всемирном пожаре родится обновленная звездная вселенная, как легендарный «феникс» древней мифологии. «Если мы,—говорит Кант,—через всю бесконечность времени и пространства проследим этот феникс природы, который лишь затем сжигает себя, чтобы вновь молодым возродиться из своего пепла, то дух наш, размышляя об этом, погружается в глубокое удивление».

Эти выдержки дают представление о замечательном творении Канта, «философской поэме», как назвал его Аррениус. Хотя многие из его выводов теперь признаны ошибочными, все же книга Канта имеет и сейчас для нас не только историческое значение. В ней впервые было показано, что задача «построить мир из материи» может быть решена точным естествознанием. А его бодрую уверенность в «вечности природы», в том, что должен быть выход из «естественного конца», предсказанного Ньютоном, очень поучительно противопоставить пессимизму некоторых современных космогонистов.

5. ГИПОТЕЗА ЛАПЛАСА

Пьер-Симон Лаплас (1749—1827) есть одно из тех имен, которыми гордится астрономия. Блестяще и разносторонне одаренный, член Французской академии наук уже на 24-м году, он является величайшим астрономом-теоретиком со времен Ньютона. Основываясь как на исследованиях своих великих предшественников, особенно Эйлера и Лагранжа, так и на собственных глубоких математических изысканиях, Лаплас в своей «Небесной механике» (1799—1825) почти полностью решил поставленную Ньютоном задачу: показать, что все известные нам небесные движения выводятся математически из закона всемирного тяготения и, следовательно, могут быть вычислены вперед (и назад) на основании этого закона. Согласие действительных движений с вычисленными по формулам «Небесной механики» было так совершенно, что автор ее мог написать следующие слова: «Можно обнять общими формулами все изменения, которые течение времени произвело и должно произвести в солнечной системе. Здесь нет речи о причинах неопределенных, не подверженных анализу и произвольно видоизменяемых воображением для объяснения явлений». Казалось, что почти все главные задачи математической астрономии уже решены, а для полного решения остальных вопросов надо подождать только «усовершенствования математического анализа». Мы знаем теперь, что с этими утверждениями Лапласа нельзя согласиться, но все-таки в целом ряде задач истекшее столетие не прибавило почти ничего существенного к тем решениям, которые были даны в «Небесной механике».

Имя Лапласа пользуется широкой известностью не только среди математиков, астрономов и физиков; почти каждый человек, интересующийся естествознанием, прежде всего, связывает с этим именем «гипотезу Канта-Лапласа». Многие даже и не слыхали ни о каких других научных заслугах Лапласа, но твердо знают, что Лаплас «открыл происхождение солнечной системы». Такие читатели, вероятно, будут очень удивлены, когда узнают, что в многочисленных научных работах Лапласа решительно нигде даже не упоминается о происхождении мира. В пяти томах «Небесной механики» разбираются самые разнообразные, часто сравнительно мелкие вопросы, как например, преломление света в земной атмосфере и барометрическая формула, но космогонические вопросы

там не нашли себе места. Только в его популярной книге «Изложение системы мира» (1796), изданной раньше «Небесной механики», и даже не в самом ее тексте, а в последнем, седьмом примечании, помещена знаменитая гипотеза. Примечаний обычно не читают, и авторам это известно. Ясно, что Лаплас уделил своей гипотезе такое скромное место потому, что не придавал ей большого значения. Он и сам говорит, что предлагает ее «с осторожностью, подобающей всему, что не представляет результата наблюдения или вычисления».

Гипотеза Лапласа отличается от кантовской не только содержанием, но и всем своим духом и манерой изложения. Вместо смешанного с мистикой полета фантазии немецкого мыслителя мы находим у великого французского математика ясную и холодную цепь выводов, основанных на законах механики, причем вопросы, неразрешимые этим путем, просто оставляются без рассмотрения. Это сказывается, прежде всего, на исходном моменте его рассуждений. Лаплас начинает не с хаоса, как Кант, а сравнительно с очень поздней эпохи, именно с туманности, внутри которой уже образовалось громадное центральное ядро—Солнце, и в дальнейшем занимается только вопросом об образовании планет и спутников из туманности, некогда окружавшей Солнце. Вопроса о происхождении центрального сгущения он не разбирает, но из других мест его книги видно, что он разделял в этом отношении взгляды своего современника Вильяма Гершеля (1738—1822), одного из величайших наблюдателей всех времен. Вот как он описывает наблюдения Гершеля:

«Гершель, наблюдая туманности своими могущественными телескопами, следил за успехами их сгущения. Разумеется, он совершил такого рода наблюдения не над одной отдельной туманностью (потому что такого рода последовательность делается для нас заметной только в течение веков), а над их совокупностью, точно так же, как в обширном лесу следят за ростом деревьев, наблюдая особи различных возрастов, находящихся в лесу. Он сперва наблюдал туманную материю, рассеянную кучами в различных частях неба, на котором они занимают огромные пространства. В некоторых из этих куч он видел материю, слабо сгустившуюся вокруг одного или нескольких слабо светящихся ядер, или центров. В других туманностях эти ядра блестят ярче, в сравнении с окружающим их бледным туманом. Когда атмосферы каждого ядра разделяются вследствие дальнейшего сгущения, то получаются

сложные туманности, состоящие из блестящих, весьма близких друг к другу ядер, окруженных каждое своей атмосферой. Иногда туманная материя, сгущаясь равномерно, производит так называемые *планетарные туманности*. Наконец, еще высшая степень сгущения превращает все эти туманности в звезды. Туманности, распределенные по этому философскому воззрению, указывают, с весьма большой вероятностью, что в будущем они превратятся в звезды и что теперешние звезды в прошлом находились в состоянии туманности. Таким образом последовательные стадии сгущения туманной материи приводят нас к заключению, что Солнце когда-то было окружено обширной атмосферой,— к заключению, которое я вывел, исследуя явления солнечной системы, как это мы увидим в последнем примечании. Такое замечательное совпадение результатов, полученных различными путями, придает большую вероятность тому, что Солнце действительно находилось в таком первоначальном состоянии».

В другом месте Лаплас говорит об образовании звездных групп (вроде Плеяд): «так как вещество туманности беспрестанно притягивается [ее] ядрами, то туманность должна, в конце концов, превратиться в группу звезд, подобных Плеядам». Из этих выдержек видно, что Лаплас считал туманности материалом, из которого, посредством постепенного сгущения, образуются солнца и планеты. Этот взгляд, в общем, сохранился и в современной науке, несмотря на то, что картина эволюции, нарисованная Гершелем, совершенно не соответствует теперешним представлениям о туманностях.

Итак, перед началом образования планет мы, по Лапласу, имеем Солнце, окруженное громадной по объему, и чрезвычайно разреженной туманностью, или, как он ее называет, *атмосферой*, простирающейся далеко за орбиту самой отдаленной планеты. С очень далекого расстояния наша солнечная система имела бы в те времена вид «туманной звезды», подобной тем туманным звездам, которые были открыты Гершелем в разных местах Млечного Пути. Лаплас принимает, что эта первозданная атмосфера имела такую же природу, какую имеет солнечная атмосфера еще теперь (о существовании атмосферы вокруг Солнца Лаплас знал, как это видно из разных мест его сочинений), т. е. представляла собой громадную массу крайне разреженного *раскаленного газа*. Вспомним, что туманность Канта, наоборот,— метеоритная, состоящая из отдельных твердых частиц.

Сознавая, что единственная причина, которая могла бы вызвать образование планет, это—вращение, Лаплас надеется свою туманную звезду медленным вращательным движением; но он даже и не пытается объяснить его происхождение. Важно заметить для дальнейшего, что у Лапласа вся газовая масса вращается приблизительно равномерно, как твердое тело, так что точки более далекие от центра описывают круги большего радиуса и поэтому движутся с большими скоростями, чем точки более близкие. Туманность эта не может простирается до бесконечности: с удалением от центра сила притяжения Солнца уменьшается и все слабее удерживает частицы окружающей туманности; кроме того, чем быстрее вращение, тем сильнее действие так называемой центробежной силы, от которой иногда разрываются на куски даже маховики паровых машин. Чем дальше от Солнца, тем центробежная сила больше, и на некотором определенном расстоянии она сравнивается с силой притяжения. Это расстояние и дает границу туманности: находящиеся за ней частицы должны разлететься в мировое пространство. Вследствие охлаждения туманности сжимается и постепенно уплотняется; но с уменьшением ее размеров скорость вращения увеличивается, так как по основному закону механики сумма всех вращательных моментов в системе (произведение скорости точки на ее расстояние от центра и на массу) должна оставаться постоянной величиной. Отсюда нетрудно вывести, что при изменении радиуса вращающейся массы время ее обращения должно изменяться пропорционально квадрату этого радиуса; например, при уменьшении радиуса вдвое время одного оборота становится в четыре раза короче¹. С ускорением вращения возрастала центробежная сила, под действием которой туманность изменила форму: из шара превратилась в сильно сплюс-

¹ Назовем радиус туманности через a , скорость точки, наиболее далекой от оси, через v , время обращения T ; неизменяющуюся массу примем за единицу; тогда по упомянутому выше закону (так называемая теорема площадей) будем иметь:

$$a \cdot v = k,$$

где k —постоянное число. Но так как $v = \frac{2\pi a}{T}$, то для времени обращения получаем:

$$a^2 \cdot \frac{2\pi}{T} = k, \text{ или } T = \frac{2\pi}{k} \cdot a^2. \quad (1)$$

нудое тело, так называемый сферонд. Наконец, когда экваториальный радиус ее уменьшился до величины расстояния самой далекой планеты, центробежная сила возросла до того, что уравновесила притяжение центрального сгущения для всех точек туманности, лежащих вдоль экваториального пояса. Вследствие этого, внешние экваториальные частицы туманности потеряли связь с остальной массой и отделились от нее в виде тонкого и узкого «пояска» (зоны), который попрежнему продолжал вращаться вокруг оси туманности, оставаясь уже все время на неизменном расстоянии от оси вращения. Между тем, остальная, внутренняя, часть туманности продолжала сжиматься, вращение ее ускорялось, и, как легко доказать, центробежная сила росла быстрее, чем сила притяжения¹. Поэтому, расстояние, на котором частицы туманности «теряли вес», непрерывно уменьшалось, граница атмосферы непрерывно приближалась к центру, и непрерывно, пояска за пояском, шло по экватору туманности отделение газообразного вещества. В результате должно было получиться вокруг Солнца *одно* громадное, тонкое, плоское газовое кольцо, занимающее все пространство нынешней планетной системы от орбиты Меркурия до ее внешней границы, нечто вроде кольца Сатурна в более грандиозном масштабе. Но этого не случилось.

Одновременно с процессом непрерывного отделения частиц атмосферы кругом солнечного экватора в самой отделившейся плоской туманности шел другой процесс — разделение на отдельные концентрические кольца. Причина — «сжатие» (вследствие охлаждения) и «взаимное притяжение их частичек». Внешняя и внутренняя границы каждого кольца постепенно сближались, а просветы между смежными кольцами, ана-

¹ Ускорение центробежной силы равно:

$$g = \frac{4\pi^2 a}{T^2},$$

вставив величину T , найденную в предыдущем примечании, получим:

$$g = \frac{k^2}{a^6} \dots \quad (2)$$

Формула (2) показывает, что центробежная сила обратно пропорциональна кубу расстояния, между тем притяжение — обратно пропорционально квадрату расстояния.

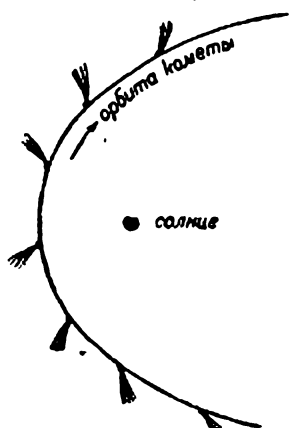
логичные делениям сатурнова кольца, становились все шире. Так образовались знаменитые «лапласовские кольца». Каждое из них располагалось приблизительно по орбите какой-нибудь из теперешних планет, и все кружились около Солнца по одному и тому же направлению¹.

Рассмотрим теперь судьбу отделившихся колец. Вследствие взаимного притяжения частиц кольцо должно несколько уплотниться; вследствие внутреннего трения газовой массы скорости одних частиц замедлятся, других—ускорятся, и, наконец, кольцо будет обращаться вокруг Солнца с одинаковой *угловой* скоростью во всех его точках. Другими словами, и внутренние его точки, ближайšie к Солнцу, и внешние, самые далекие, будут совершать обращения в одно и то же время; следовательно, последние частицы будут на самом деле двигаться быстрее, с большей *линейной* скоростью, так как в одинаковое время они должны описать круги большего радиуса. Если бы сгущение кольца продолжалось равномерно по всей его окружности, что возможно было бы при полной однородности кольца, то оно превратилось бы в группу, состоящую из множества небольших твердых тел, вроде пояса малых планет между Марсом и Юпитером или кольца Сатурна. Но такой случай может встретиться редко. В громадном большинстве случаев кольцо оказывается неоднородным, в нем имеются один или несколько центров сгущения, которые постепенно притягивают к себе все частицы кольца; более мощное из образовавшихся тел, в конце концов, присоединит к себе остальные, и из каждого кольца получится одна громадная планета, окруженная раскаленной атмосферой. Она будет *вращаться вокруг оси* в том же направлении, в каком обращается вокруг Солнца, так как наружные части кольца, как мы только что видели, движутся быстрее внутренних. Вращение это сначала было медленным, так как разница между скоростями внутренних и наружных точек кольца невелика, но вследствие охлаждения и сжатия оно ускорилось, и около планеты повторилось, в уменьшенном

¹ Почти во всех известных мне изложениях гипотезы Лапласа (в том числе и в первом издании этой книги) отделение колец описывается, как *прорывной* процесс: после отделения первого кольца солнечная туманность представляется устойчивой на долгое время, и только когда она сожмется, примерно, вдвое (по диаметру), отделяется сразу второе кольцо и т. д. Такая мысль совершенно чужда Лапласу и принадлежит, по-видимому, Рошу.

виде, то же, что и около Солнца: отделение колец, из которых потом образовались *спутники* (фиг. IV). У одной планеты, в виде исключения, последнее кольцо оказалось таким однородным по своему составу, что оно не превратилось в одного большого спутника, а сгустилось в громадный рой отдельных маленьких телец, который мы называем *кольцом Сатурна* (фиг. III).

Кометы, по теории Лапласа, не принадлежат к солнечной системе. Он принимает их за небольшие туманности, странствующие от одной солнечной системы к другой и образовавшиеся вследствие сгущения туманного вещества, широко распространенного в мировом пространстве. Попадая в ту часть пространства, где преобладает притяжение нашего Солнца, они под его действием описывают параболические или гиперболические орбиты¹. Если бы силы, действующие на комету, ограничивались притяжением только одного Солнца, то каждая комета, обойдя один раз кругом него, навсегда исчезала бы из пределов нашей системы. Но притяжение планет изменило движение некоторых комет и превратило «не-



Черт. 2. Движение кометы по параболе.

замкнутые» гиперболы в «замкнутые» эллипсы. Так появились *периодические* кометы, возвращающиеся к Солнцу через большие или меньшие периоды. Подобно другим космогонистам, охотно прибегающим в затруднительных случаях к помощи комет, Лаплас отводит этим телам некоторую роль в образовании планетной системы. Именно, он считает возможным, что некоторые из наблюдающихся наклонений плоскостей планетных орбит и их экваторов были вызваны *столкновениями* Солнца и планет с кометами, которые залетали в солнечную систему во время ее образования. В тех случаях, когда комета попадала в громадную атмосферу,

эллипсы. Так появились *периодические* кометы, возвращающиеся к Солнцу через большие или меньшие периоды. Подобно другим космогонистам, охотно прибегающим в затруднительных случаях к помощи комет, Лаплас отводит этим телам некоторую роль в образовании планетной системы. Именно, он считает возможным, что некоторые из наблюдающихся наклонений плоскостей планетных орбит и их экваторов были вызваны *столкновениями* Солнца и планет с кометами, которые залетали в солнечную систему во время ее образования. В тех случаях, когда комета попадала в громадную атмосферу,

¹ Ньютон доказал, что под действием тяготения небесные тела могут описывать вокруг Солнца не только эллипс, но еще параболу и гиперболу. Обе эти кривые линии — незамкнутые, концы их не сходятся, так что комета, движущаяся, например, по параболе, обогнет Солнце один раз и уйдет навсегда в мировое пространство (черт. 2)

окружавшую небесные тела в те времена, скорость ее, вследствие сопротивления атмосферы, могла так сильно уменьшиться, что дело кончилось падением кометы на планету или на Солнце. Разумеется, сколько-нибудь значительное отклонение в планетных движениях могла бы вызвать только комета таких гигантских размеров, какие теперь не встречаются.

Гипотеза Лапласа объясняла целый ряд явлений, известных в его время, например:

1) Все планеты обращаются вокруг Солнца в одном и том же направлении и приблизительно в одной плоскости.

2) Все планетные орбиты по форме близки к кругам.

3) Солнце вращается в том же направлении, в каком движутся планеты.

4) В том же направлении вращаются вокруг своих осей планеты (по крайней мере те, вращение которых известно), и плоскости их экваторов близки к плоскостям их орбит.

5) Спутники планет обращаются в том же направлении, в каком вращаются планеты, и плоскости их орбит близки к плоскостям экваторов планет.

6) Время вращения планеты вокруг оси меньше времени обращения спутников. То же относится и к Солнцу: его время вращения (25 суток) меньше обращения ближайшей планеты Меркурия (88 суток). Это является очевидным следствием ускорения вращения центрального тела, вследствие сжатия, после отделения последнего кольца.

Вот краткое содержание знаменитой гипотезы Лапласа. Она сразу же приобрела большую популярность, благодаря хорошему согласию с известными тогда фактами и превосходному, ясному и простому изложению, которым вообще отличаются все сочинения Лапласа. В течение многих десятков лет она считалась почти доказанной научной истиной и оказала громадное влияние не только на астрономию, но и вообще на естествознание и философию XIX века. Еще не так давно можно было встретить в популярных книжках утверждения вроде того, что «тайна происхождения планетной системы была окончательно разъяснена Лапласом». Такое мнение находило себе поддержку в известном *опыте Плато* (1843), который один из новейших авторов называет «злополучным» — по роли, сыгранной им в истории космогонических идей. Этот опыт состоит в том, что внутри жидкости (смесь спирта с водой) образуют шар из другой жидкости (масло) и приводят его в быстрое вращение. Под влиянием

центробежной силы шар сплющивается, от него отделяются экваториальные кольца, которые потом разделяются на мелкие масляные шарики («планеты»), продолжающие самостоятельно свое круговое движение. Опыт этот не имеет никакого отношения к вопросу о происхождении солнечной системы: капли масла, взвешенные в жидкой сопротивляющейся среде, находятся совершенно в других условиях и движутся под действием совсем других сил, чем вращающаяся в пустом пространстве, крайне разреженная и раскаленная лапласова туманность. Между тем опыт Плато часто рассматривали как лабораторное доказательство гипотезы Лапласа, которая благодаря этому приобретает уже как бы полную достоверность.

6. ВОЗРАЖЕНИЯ И ПОПРАВКИ К ГИПОТЕЗЕ ЛАПЛАСА

С течением времени против гипотезы Лапласа стали выдвигаться самые разнообразные возражения. С одной стороны, были открыты в планетной системе явления, неизвестные во времена Лапласа и идущие вразрез с его гипотезой, с другой—в самих его рассуждениях были обнаружены ошибки и несоответствия с современными научными воззрениями. Остановимся сначала на открытиях, необъяснимых с точки зрения Лапласа.

СПУТНИКИ С ОБРАТНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

Уже В. Гершель, современник Лапласа, указал в 1797 г. на замечательную особенность, представляемую спутниками планеты Урана, которые он открыл за десять лет перед тем—именно, на *обратное* направление их движений. В 1815 г. он еще раз подтвердил этот результат. Тем не менее Лаплас не обратил внимания на открытие Гершеля, *свидетельствуя*, считая его непроверенным. Действительно, никто не мог тогда подтвердить этих наблюдений, так как знаменитые телескопы Гершеля долго оставались единственными инструментами, показывавшими крайне слабых спутников Урана. Теперь этот факт стоит вне сомнений: все четыре известных нам спутника Урана обращаются в плоскости, наклоненной к плоскости эклиптики на 97° . Чтобы лучше уяснить это, представим

себе сначала, что спутник обращается в нормальном направлении, т. е. с запада на восток, в ту же сторону, как и остальные планеты и спутники, и притом в точности в плоскости эклиптики; наклонение плоскости его орбиты будет, очевидно, равно нулю. Будем теперь постепенно увеличивать наклонение этой плоскости; движение спутников будет оставаться прямым, пока орбита не станет перпендикулярно к эклиптике, т. е. пока наклонение не достигнет 90° ; теперь движение не будет ни прямым, ни обратным. При дальнейшем увеличении наклона орбиты движение делается обратным; это и выражают, указывая, что угол наклона больше 90° . Например, наклонение в 180° означает, что светило движется в плоскости эклиптики, но в обратном направлении. Таким образом движение спутников Урана, несомненно, обратное, хотя и не резко выраженное: как указано, орбиты их стоят почти перпендикулярно к эклиптике, угол наклона всего на 7° больше прямого.)

Еще заметнее обратное движение спутника Нептуна, открытого в 1847 г. Его наклонение равно 139° , другими словами, он имеет обратное движение с наклоном в 41° ($180-139^\circ$). Наконец, у двух самых больших планет, Юпитера и Сатурна, имеющих каждая очень большое число спутников, в последнее время были открыты очень далекие спутники также с обратным движением, у Юпитера два (8-й и 9-й), у Сатурна—один (9-й, так называемая Феба); наклонения их еще больше, чем у спутника Нептуна, и составляют 145° , 154° и 149° .

Таким образом прямые движения спутников далеко не составляют правила в нашей системе, как это думал Лаплас. Существование обратных движений спутников явно противоречит его гипотезе, и это противоречие надо так или иначе выяснить.

СПУТНИКИ С ОЧЕНЬ БЫСТРЫМ ДВИЖЕНИЕМ

Одним из самых сенсационных астрономических открытий прошлого столетия является открытие двух спутников Марса, сделанное в августе 1877 г. американским астрономом Холлом (A. Hall). Эти спутники оказались удивительными во многих отношениях, например по своим размерам, непривычно крошечным для самостоятельных небесных тел (меньший из них имеет в диаметре $10-15$ км). Замечательно также, что они

были предсказаны заранее, причем довольно точно были указаны их самые оригинальные свойства—близость к планете и связанное с этим крайне быстрое движение. Этим на редкость счастливым пророком был не астроном, а знаменитый английский писатель Свифт, автор всем известной сатиры «Путешествия Гулливера» (1727). Желая высмеять современных ему европейских астрономов, наблюдавших тогда с помощью невероятно громоздких и несовершенных труб, Свифт описывает поразительные успехи, достигнутые в астрономии жителями фантастической страны Лапуты. Хотя их телескопы не длиннее трех футов, они увеличивают сильнее стофутовых европейских телескопов; с их помощью лапутинцы открыли у Марса двух спутников, из которых внутренний отстоит от центра главной планеты на расстоянии как раз трех ее диаметров, а наружный—пяти. Первый совершает свое обращение в течение 10 часов, последний в $21\frac{1}{2}$ часа, так что отношение квадратов их времен обращений очень близко к отношению кубов их расстояний от центра Марса, из чего с очевидностью вытекает, что они управляются тем же законом тяготения, который управляет и другими небесными телами».

Свифт удивительным образом предугадал самую замечательную особенность спутников—их очень быстрое обращение, которое в действительности составляет у внутреннего спутника, Фобоса, всего 7 ч. 38 м., а у внешнего, Деймоса, 30 ч. 14 м. Таким образом Фобос обращается вокруг Марса втрое скорей, чем вращается сама планета: факт совершенно невозможный и необъяснимый с точки зрения гипотезы Лапласа.

Другой подобный случай представляет *кольцо Сатурна*. Мы теперь знаем с полной достоверностью, что кольцо этой планеты состоит из бесчисленного множества отдельных телец—песчинок, или пылинок,—обращающихся вокруг центрального тела по кеплеровым законам. Следовательно, разные частицы кольца совершают свое обращение около Сатурна в разное время, в зависимости от расстояния: чем ближе частица, тем быстрее она движется, согласно третьему закону. Простой расчет по формуле этого закона, в полном согласии с произведенными наблюдениями, показывает, что ближайšie к планете частицы кольца делают один оборот около Сатурна приблизительно в 8 часов, т. е. гораздо скорее самой планеты, время вращения которой составляет 10 ч. 14 м.

ВОПРОС ОБ ОБРАЗОВАНИИ КОЛЕЦ И О СГУЩЕНИИ ИХ В ПЛАНЕТЫ

Самую характерную особенность гипотезы Лапласа представляет отделение от туманности широких мощных колец; но это образование колец является и самым слабым местом всей гипотезы. Действительно, когда говорят о начальной туманности нашей системы, то редко представляют себе ее невообразимо малую плотность; между тем, если принять, что все вещество Солнца и планет было вначале рассеяно *равномерно* внутри шара с радиусом орбиты Нептуна, то плотность такой туманности была бы в 250 миллионов раз меньше плотности воздуха у земной поверхности. На самом деле плотность во внешних частях туманности должна быть еще меньше, так как большую часть всей материи надо представлять себе с самого начала сосредоточенной в середине, в центральном сгущении—Солнце. Эта плотность несравненно меньше самой совершенной пустоты, которую мы можем получить в наших лабораториях. При такой разреженности не может быть никакого сцепления между частицами туманности, по крайней мере в ее внешних слоях; поэтому, так как охлаждение и сжатие идут непрерывно, то непрерывно должно было идти и выделение частиц на экваторе туманности. Это было ясно и Лапласу. Должен был получиться в плоскости экватора один тонкий, плоский и непрерывный слой. Что в этом громадном кольце могли образоваться, по случайным причинам, узкие просветы, разделившие его на несколько концентрических колец, как у кольца Сатурна, вполне допустимо. Но невозможно себе представить, чтобы получившиеся кольца в десятки и сотни миллионов километров шириною могли сжаться в сравнительно плотные «лапласовские» планетные кольца, так как притяжение между их частицами было совершенно ничтожно.

Еще менее возможно, по современным данным, сгущение кольца в планету. В 1916 г. Джинс показал, что газовая масса кольца могла бы сгуститься только в том случае, если бы она имела плотность, близкую к средней плотности всей туманности. Но этого не могло быть, так как, по подсчетам того же исследователя, почти вся масса туманности должна была быть сосредоточена около ее центра,—иначе туманность не могла бы вращаться со скоростью, достаточной для отделения колец. Отсюда вывод: если бы и образовалось лапла-

совское кольцо, оно не только не превратилось бы в одну большую планету, но даже не в состоянии было бы сгуститься в скопление отдельных твердых пылинок (метеоров). Кольцо осталось бы газообразным и постепенно рассеялось бы в пространстве.

Это рассуждение, точно обоснованное математически, явилось тяжелым ударом для гипотезы Лапласа.

ВОПРОС О НАПРАВЛЕНИИ ВРАЩЕНИЯ ПЛАНЕТ

Допустим все-таки, что большое и достаточно плотное кольцо образовалось. Почти невероятно, чтобы оно было совершенно однородно на всем своем протяжении. В нем непременно будут местные сгущения, которые постепенно притянут к себе всю материю кольца. Спрашивается, будет ли вращаться образовавшаяся из кольца планета, и если будет, то в каком направлении? Лаплас утверждал, что вращение должно быть прямое, т. е. в ту же сторону, в которую происходит и обращение планеты вокруг Солнца. Для этого он принял, что все кольцо вращалось, как твердое тело (см. предыдущую главу), следовательно, его внешние точки имели большую скорость, чем внутренние. Выделим внутри массы кольца газовый шар с диаметром, равным толщине кольца, вообразим, что он затвердел, и будем считать его центр неподвижным. Тогда самая далекая от Солнца точка шара уйдет вперед относительно центра, а самая близкая отстанет, и шар станет вращаться в направлении движения планеты. Но мы видели, что, вследствие крайней разреженности кольца, его частицы не испытывают никакого притяжения со стороны других частиц и каждая из них, следовательно, должна двигаться совершенно самостоятельно, только под действием солнечного притяжения, т. е. по законам Кеплера. А по этим законам внешние точки кольца движутся не быстрее, а медленнее внутренних, и планета, по предыдущему, получит *обратное* вращение; в том же направлении будут обращаться отделившиеся от планеты спутники. Это приводит к парадоксальному выводу: спутник Нептуна и другие «обратные» спутники, движения которых казались необъяснимыми с точки зрения гипотезы Лапласа, наоборот, ее подтверждают, и теперь приходится искать объяснения как раз для «прямых» спутников и прямых вращений планет. Мы увидим дальше, какие попытки были сделаны, чтобы выйти из этого затруднения.

МЕДЛЕННОСТЬ ВРАЩЕНИЯ СОЛНЦА И ПЛАНЕТ ВОКРУГ ОСЕЙ

Мы уже видели, каким серьезным затруднением для гипотезы Лапласа является слишком быстрое обращение одного из спутников Марса в сравнении с вращением самой планеты, или, что то же самое, слишком медленное вращение планеты. Оказалось, что открытие спутников Марса явилось только наглядной иллюстрацией одной особенности нашей системы, которую можно было бы подметить и без этого открытия. Она состоит в слишком медленном вращении всех центральных тел нашей системы, т. е. Солнца и планет, имеющих спутников; времена их вращений вокруг осей совершенно не соответствуют гипотезе Лапласа.

Как мы уже упоминали, по законам механики общая сумма вращательных движений, или момент вращения системы, должна оставаться неизменной (моментом вращения, или моментом количества движения точки, называется произведение ее скорости на расстояние от центра тяжести и на массу). Для ясности рассмотрим сперва самый простой, но в то же время и самый резкий пример, именно систему Земля-Луна. По гипотезе Лапласа, Луна должна была образоваться из кольца, которое отделилось от громадной газобразной Земли на том же расстоянии от ее центра, на каком Луна находится и теперь, т. е. на расстоянии около 60 радиусов земного шара. Сделаем самое простое предположение, именно, что Земля вместе с еще не отделившейся Луной представляла в те времена однородный шар с радиусом в 60 раз большим, чем теперь, и вращалась около оси с периодом, равным теперешнему обращению Луны (27,3 суток). Зная массу, радиус и скорость вращающегося шара, легко можно вычислить его момент вращения. Это будет тот момент вращения, которым обладала наша система до отделения Луны, это же количество вращения она должна бы иметь и в настоящее время, только теперь оно состоит из двух слагаемых: количество вращения Земли и количество движения Луны по орбите (количеством вращения Луны вокруг оси можно пренебречь, как очень малой величиной). И вот, если произвести такой подсчет, то окажется, что количество движения системы Земля-Луна в настоящее время составляет лишь незначительную долю предполагаемого начального количества. Другими словами, Земля вращается теперь гораздо медленней, чем этого требует гипотеза

Лапласа: она должна бы вращаться не в 24 часа, а всего в 11 минут, чтобы ее количество вращения вместе с движением Луны составило требуемую величину¹. Кстати сказать, такое быстрое вращение абсолютно невозможно: гораздо раньше, чем достигнуть этой скорости, Земля разорвалась бы на куски под действием центробежной силы. Даже если допустить, что в момент отделения лунного кольца туманность уже была неоднородна и что большая часть ее массы была сосредоточена около центра, где потом образовалась Земля, то и эта гипотеза дает для начального количества движения невозможные большие цифры. Поэтому приходится прийти к заключению, что Луна отделилась от первичной земной туманности не на том расстоянии от центра, на каком она находится теперь, а гораздо ближе, и что потом она удалилась от нас на ее нынешнее расстояние. Эту причину отдаления современные космогонические теории выдают в *приливном трении*, о котором нам много придется говорить.

¹ Расчет этот можно произвести таким образом. Обозначим скорость точки земного экватора через v , скорость Луны V , радиус Земли r , расстояние Луны R , массу Земли M , массу Луны m . Тогда по формулам механики получим для современного момента количества движения g :

$$g = \frac{2}{5} Mr^2 v + m r V, \quad (1)$$

а для гипотетического начального момента количества движения G :

$$G = \frac{2}{5} (M + m) R V. \quad (2)$$

Подставим числа: $m = 1$, $r = 1$, $M = 81$, $R = 60$, $v = 464$ м/сек, $V = 1020$ м/сек и разделим (1) на (2):

$$\frac{g}{G} = 0,007 + 0,031 = 0,038. \quad (3)$$

Таким образом момент вращения составляет около $\frac{1}{26}$ предполагаемого начального момента. Первое слагаемое правой части указывает ту долю количества движения, которая обуславливается вращением Земли, второе — движением Луны. Как видно, первое слагаемое составляет только 18%, всей суммы, остальные 82% приходятся на долю Луны. Эти числа нам понадобятся впоследствии.

Заменив в формуле (1) g через G и считая v неизвестным, определяем v из этого уравнения. Получаем (вместо 464 м) 59,600 м/сек, что дает для времени одного оборота Земли 670 сек., т. е. 11 мин. 10 сек.

Та трудность, которую мы подробно разобрали для системы Земля-Луна, существует и для всей планетной системы в целом. Вычисление показывает, что теперешнее количество движения солнечной системы приблизительно раз в 200 меньше того количества, которое она должна была иметь, если бы образовалась из однородной туманности, простиравшейся за орбиту Нептуна. Теория приливного трения в этом случае оказывается недостаточной, и только предположение о существовании с самого начала мощного центрального сгущения может, пожалуй, хоть до некоторой степени устранить затруднение.

ПОПРАВКИ К ГИПОТЕЗЕ ЛАПЛАСА

Замечательно, что среди множества возражений против гипотезы Лапласа, основанных на фактах нашей планетной системы, почти нет ни одного, которое можно было бы назвать решающим. На все возражения критиков у защитников гипотезы до сих пор всегда оказывался сносный ответ, обыкновенно в виде сравнительно небольшого изменения той или другой частности, без затрагивания основных положений. Только изучение физики звезд вынуждает нас признать эту гипотезу несостоятельной, как увидим дальше.

Рассмотрим вкратце некоторые из изменений и дополнений, внесенных в гипотезу Лапласа наукой XIX столетия.

Сам Лаплас не облек своих идей о происхождении планетной системы в математическую формулу, хотя он, бесспорно, имел для этого больше данных, чем кто-либо из позднейших космогонистов. Это лишний раз указывает на то, какое малое значение он придавал своей гипотезе. Заслуга математической формулировки теории Лапласа принадлежит выдающемуся французскому ученому Рошу (E. A. Roche, 1820—1883). Рош исследовал вопрос о том, какую форму должна иметь охлаждающаяся газообразная туманность под действием вращения. Оказалось, что благодаря центробежной силе туманность принимает форму двояковыпуклой «линзы», или «чечевицы», с острым ребром вдоль экватора (такое тело получится, если сложить крайни две глубокие тарелки). Частицы, находящиеся вне этой поверхности (которую Рош называет «свободной» поверхностью), отделяются от туманности, так как для них центробежная сила не уравновешивается силой притяжения. По мере охлаждения туманности

часть частиц с ее более холодной внешней части падает внутрь, масса и плотность центрального сгущения возрастают, внешние же слои становятся более разреженными; при этом диаметр туманности не уменьшается сколько-нибудь заметно, так что сжатия в точном смысле слова почти не происходит. С увеличением массы центрального ядра скорость вращения туманности возрастает, а с ней возрастает и центробежная сила; «свободная» поверхность, на которой центробежная сила уравнивается силой тяжести, отступает внутрь туманности, и частицы, оказавшиеся теперь вне этой поверхности, покидают туманность. Вот причина образования экваториальных лапласовых колец. Действительный процесс их отделения, по Рошу, представляется очень сложным. С перенесением поверхности равновесия вглубь туманной массы остаются «свободные» частицы во всех частях туманности, а не только у экватора, так как свободная поверхность уменьшается, оставаясь по форме подобной прежней. Под действием центробежной силы свободные частицы «стекают» к экватору вдоль поверхности равновесия. Частицы, с самого начала находившиеся сравнительно близко к экватору, достигают его и образуют плоское лапласово кольцо. Судьбу околполярных частиц, которые, по Рошу, проникают внутрь туманности и образуют «внутренние кольца», мы рассматривать не будем.

Казалось бы, что такое отделение вещества вдоль экватора должно происходить непрерывно. Но Рош указывает остроумный механизм, который, повидному, мог бы сделать этот процесс прерывчатым. Именню, оба описанные выше главные движения частиц (падение к центру и «скольжение» к экватору) не могут происходить одновременно. Когда поверхностные, более холодные частицы стекут к экватору под действием центробежной силы, вместо того чтобы падать к центру, то центральное сгущение, очевидно, получит меньшее количество вещества. Прирост его массы прекратится, и скорость вращения станет на некоторое время постоянной. Следовательно, в этот период образования колец не происходит, так как центробежная сила не увеличивается. После того как поверхностный слой стечет к экватору, начинает охлаждаться новый слой, лежащий глубже; его частицы падают к центру, центральное сгущение начинает расти, и скорость вращения увеличивается. Но так как возрастание скорости начинается с внутренних частей туманности, то отделение по-

вого кольца начнется не сразу, а лишь после того, как новая скорость ядра передастся через трение наружному слою газовой массы. Таким образом периоды роста центрального сгущения сменяются периодами сокращения всей туманности; только во время последних периодов и могут образоваться кольца.

Соображения Роша цепны в том отношении, что они дают намек на тот путь, на котором, быть может, будет найдено объяснение загадочного закона Бодэ-Тициуса. Этот закон говорит нам, что расстояния планет от Солнца, повидимому, не случайны, а подчинены некоторому правилу. Возьмем ряд чисел:

3, 6, 12, 24, ...,

в котором каждое следующее число вдвое больше предыдущего (такой ряд называют геометрической прогрессией); припишем впереди ряда еще один член—ноль; затем прибавим к каждому числу ряда по 4. Полученные числа будут достаточно хорошо представлять средние расстояния всех планет, кроме Нептуна и недавно открытого Плутона, если среднее расстояние Земли принять за 10. Приводим средние расстояния планет, оставленные по этому правилу; рядом, для сравнения, даны истинные расстояния.

Отсюда видно, что для всех планет, кроме самых далеких, согласие истинных расстояний с определенными по правилу Бодэ действительно замечательно и указывает, повидимому, на существование какой-то физической причины, действовавшей при возникновении планет. Такой вывод представляется тем более вероятным, что подобная же закономерность обна-

П Л А Н Е Т Ы	Теоретическое расстояние	Истинное расстояние
Меркурий	$0 + 4 = 4$	3,9
Венера	$3 + 4 = 7$	7,2
Земля	$6 + 4 = 10$	10,0
Марс	$12 + 4 = 16$	15,2
Малые планеты	$24 + 4 = 28$	15—53
Юпитер	$48 + 4 = 52$	52,0
Сатурн	$96 + 4 = 100$	95,5
Уран	$192 + 4 = 196$	192,2
(Нептун)	$384 + 4 = 388$	(301,1)
(Плутон)	— —	(335)

ружена в последнее время и между расстояниями спутников Сатурна¹. Космогоническое значение этого закона должно быть, конечно, очень велико, но пока еще нам совершенно неясно. Только если принять вместе с Рошем, что первозданная туманность «пульсировала» по определенному математическому закону, что периоды отделения колец наступали через правильные промежутки времени, при сжатии газовой массы до определенных размеров,—то соображения подобного рода, вероятно, прольют свет на эти загадочные соотношения. Но пока это еще дело будущего.

Посмотрим теперь, как отвечают сторонники гипотезы Лапласа на другие возражения, не рассмотренные Рошем. На затруднение, вытекающее из слишком малого как будто количества движения всей солнечной системы, можно дать тот ответ, который для системы Земля-Луна оказался недостаточным: стоит только принять, что первичная туманность не была всюду одинаково разреженной, а имела уже с самого начала мощное центральное сгущение. Это именно и имел в виду Лаплас, когда говорил об «атмосфере», окружавшей Солнце и послужившей материалом для образования планет. К сожалению, такое простое выяснение одной трудности в то же время усиливает другую: начальная «атмосфера» Солнца выходит при этом допущении еще разреженной, чем однородная первичная туманность; внутреннее сцепление между ее частицами получается еще слабее и возможность образования колец—еще сомнительнее.

Наконец затруднения, связанные с движением спутников и вращением планет, удовлетворительно разъясняются *теорией приливов*. Пока нам достаточно знать, что если на небесном теле возникают приливы под действием другого тела, то появляется сила *приливного трения*, действующая как тормоз на вращение планеты. При продолжительном действии

¹ Закон Боде-Титциуса выражается формулой:

$$d = 4 + 3 \cdot 2^n,$$

которая дает расстояния планет, если вместо n подставить одно из чисел от 0 (Венера) до 6 (Уран). Планет, соответствующих отрицательным показателям ($-1, -2, -3 \dots$), не найдено, но планета, соответствующая $n = -\infty$, существует, это — Меркурий.

Замечательно, что в системе спутников Сатурна такие тела с отрицательными n , от -1 до $-\infty$, имеются, именно кольца Сатурна.

этой силы вращение планеты может замедлиться на какую угодно величину или даже вовсе остановиться: ведь приливное трение есть один из тех могучих деятелей природы, сила которых заключается в их непрерывном действии все в одном направлении в течение целой жизни планеты. Такие силы могут произвести колоссальные действия, если только им предоставлено достаточное время. Согласно этой теории, планеты вращались прежде вокруг своих осей быстрее, чем теперь, и время вращения, например, Марса было когда-то короче периода обращения Фобоса и, благодаря приливам, производимым Солнцем, замедлилось до своей теперешней величины. Так объясняются случаи слишком *быстрых* обращений спутников. Что касается *обратных* спутников, то и для них существует объяснение, основанное на теории приливов, это—смелая гипотеза *планетной инверсии*. По этой теории все планеты при своем образовании из колец имели обратное вращение (как этого, собственно говоря, и требует исправленная теория Лапласа); в том же направлении должны были обращаться около них их первые спутники. Но сила трения солнечных приливов, действуя в течение многих сотен миллионов лет, с течением времени совершенно остановила вращение планеты, так что она на долгий период осталась обращенной к Солнцу одной стороной (как Луна к Земле). Действие приливов продолжалось и после этого: в соединении с сжатием вследствие охлаждения они произвели силу, которая привела планету во вращение, но уже в противоположном направлении—в том, в каком она вращается и теперь. Вращение это могло настолько ускориться, что планета образовала ряд спутников; понятно, что «молодые» спутники должны обращаться уже в направлении противоположном обращению «старых», более далеких спутников. Это как раз и наблюдается у Юпитера и Сатурна. У далекого Урана все известные нам спутники движутся в обратном направлении, и сама планета имеет обратное вращение. И этот факт хорошо соответствует теории инверсии: на громадных расстояниях от Солнца приливная сила настолько ослаблена, что за все время существования этой отдаленной планеты она не была в состоянии сколько-нибудь значительно изменить ее вращение. Но сделанное в 1928 г. на Ликской обсерватории открытие, что Нептун вращается в *прямом* направлении, а его спутник в обратном, явилось довольно неприятным сюрпризом для этой теории. Самые важные результаты дает

теория приливов для выяснения истории нашей Луны. Этому вопросу посвящена дальше особая глава.

Подведем краткий итог. Когда Лаплас предлагал свою гипотезу «с осторожностью, приличной всему, что не представляет результата наблюдения или вычисления», он вряд ли предвидел ее блестящую судьбу. В течение целого столетия его гипотеза доказывала массам, что научная космогония возможна, и в этом отношении ее роль огромна. Теперь она уступает место более совершенным гипотезам, но она сохраняет и в наши дни очень большое значение. Необыкновенная простота, стройность и наглядность объяснения множества фактов делают ее особенно подходящей для первого ознакомления с теориями мироздания.

Заметим еще, что и более новые гипотезы далеко не свободны от возражений.

7. ПРИЛИВНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ

Еще Кант и Лаплас указывали на значение приливов в истории планет, но всю громадную важность этого явления выяснили, главным образом, замечательные математические исследования Джорджа Дарвина (1845—1912), сына известного биолога Чарльза Дарвина. Он посвятил разработке этого отдела небесной механики почти всю свою жизнь, и в настоящее время в астрономии утвердилось понятие о «приливной эволюции», связанное с его именем, подобно тому как понятие об эволюции в мире животных и растений связано с именем его отца.

ПОНЯТИЕ О ПРИЛИВАХ

Явление морского прилива и отлива, хорошо известное и играющее важную роль в жизни приморских городов Западной Европы, в нашей сухопутной стране известно только понаслышке, тем более, что в Черном и Балтийском морях прилив совершенно незаметен. Поэтому сообщим некоторые главнейшие сведения об этом замечательном явлении.

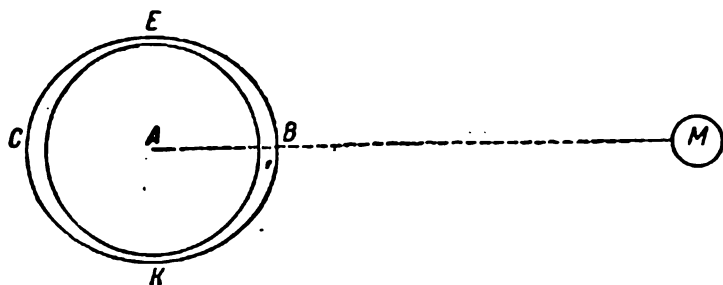
Жители океанских побережий хорошо знают, что уровень моря испытывает вечные колебания. В течение шести часов с небольшим он непрерывно повышается, происходит *прилив*; после наступления самого высокого уровня («высокая

вода») вода начинает сбывать—начинается *отлив* и продолжается приблизительно столько же времени, пока не наступит самый низкий уровень («низкая вода»). Это случается приблизительно через 12 ч. 25 м. после предыдущей низкой воды. Таким образом в течение суток бывают два отлива и два прилива, причем на следующий день те же явления повторяются на 50 минут позже. Это давно уже навело на мысль, что существует какая-то связь между приливами и Луной: как известно, Луна движется так, что каждые следующие сутки то же видимое положение ее на небе приходится позже в среднем на те же самые 50 мин. Таким образом, если прилив (самая высокая вода) наступил сегодня, например, через час после самого высокого положения Луны, или так называемой ее *верхней кульминации*, то это же будет иметь место и во все следующие дни: высокая вода будет наступать всегда приблизительно при одном и том же положении Луны на небе. Понятно, что это может случиться в любой час по нашим часам, и поэтому никакой связи с Солнцем мы не заметим.

Интересно вот что. Луна бывает в верхней кульминации, т. е. прямо на юге, раз в сутки, и около этого времени, действительно, наступает прилив. Но через полсутки случается второй прилив, как раз в такое время, когда Луна находится под горизонтом, следовательно, на этот раз океанские воды уже поднимаются не к Луне, а от Луны, не притягиваются ею, а как бы отталкиваются. Чтобы выяснить это на первый взгляд непонятное обстоятельство, рассмотрим действие Луны на земные океаны.

Океан занимает около $\frac{3}{4}$ всей земной поверхности, поэтому не будет большим отступлением от истины, если мы для простоты примем, что *вся* Земля покрыта глубоким океаном, или, что то же самое, Земля представляет собой водяной шар, внутри которого находится твердое ядро (черт. 3). Под действием лунного притяжения этот жидкий шар изменяет свою форму и принимает вид вытянутого «эллипсоида», т. е. тела, напоминающего яйцо, с тем только отличием, что оба конца его одинаково закруглены, причем самый длинный диаметр эллипсоида (на нашем рисунке *СВ*) всегда направлен к Луне *М*. Так как внутренний твердый шар Земли своей формы не изменяет, то по отношению к этому шару водяная оболочка поднимается *двумя* вздутиями, или «горбами». Один горб находится всегда на

обращенном к Луне земном полушарии, другой—на противоположном. Каждая точка земного экватора, благодаря суточному вращению, проходит поочередно то через один, то через другой приливный выступ; или, можно сказать, приливные выступы обходят в течение суток всю окружность земного экватора. Когда через данную точку проходит вершина выступа, в ней наблюдается самая высокая вода, когда проходит промежуток между выступами—самая низкая. Поэтому в каждом месте Земли бывает в сутки два прилива, один около того времени, когда Луна проходит через меридиан и занимает, следовательно, самое высокое положение на небе (верхняя кульминация, точка *B*),



Черт. 3. Объяснение приливов.

другой же происходит тогда, когда Луна занимает, наоборот, самое низкое положение под горизонтом (нижняя кульминация, точка *C*).

То обстоятельство, что Луна возбуждает прилив не только на обращенном к ней полушарии, но и на противоположном, часто кажется непонятным. Это можно объяснить следующим образом: Луна оттягивает на обращенном к ней полушарии воду от Земли совершенно на такую же величину, на какую она оттягивает Землю от воды на противоположном полушарии. Таким образом приливообразующая сила представляет собой лишь разность сил, с которыми Луна притягивает центр Земли, с одной стороны, и самую близкую или самую далекую точку земной поверхности—с другой. Легко убедиться, что насколько ближайшая точка Земли притягивается сильнее центра, почти настолько же центр притягивается сильнее, чем самая далекая точка. Эта при-

ливообразующая сила гораздо метьше притяжения и изменяется обратно пропорционально не квадрату, а кубу расстояния¹.

ПРИЛИВНОЕ ТРЕНИЕ

Истинная картина приливов необыкновенно сложна, несравненно сложнее только что описанной простой схемы. Мы уже и не говорим о том, что, кроме лунных приливов, на водяную оболочку Земли действуют хотя и более слабые, но все же заметные солнечные приливы. И без них существует достаточное количество причин, делающих истинный прилив совсем не похожим на «идеальный». Прежде всего, океан покрывает не всю поверхность Земли; глубина его крайне различна, очертания и крутизна берегов также чрезвычайно неправильны; наконец, частицы воды обладают *трением*. В результате нигде на земном шаре самая высокая вода не наступает в точности в момент лунной кульминации, как это было бы в рассмотренном идеальном случае. Почти везде наступление прилива расходится с Луной, и это опоздание, называемое «прикладным часом», обыкновенно бывает гораздо более часа. В некоторых местах оно достигает шести часов, так что там во время лунных кульми-

¹ Доказать это можно так. Пусть x будет расстояние Луны от центра Z м.и., причем радиус Z м.и. примем за 1. Тогда расстояния точек B , A и C от Луны M будут равны:

$$BM = x - 1, AM = x, CM = x + 1.$$

Силы, с которыми Луна притягивает эти точки, будут, по закону Ньютона, обратно пропорциональны квадратам расстояний, т. е. будут пропорциональны числам:

$$\frac{1}{(x-1)^2}, \frac{1}{x^2}, \frac{1}{(x+1)^2}.$$

Составим разности между силой притяжения точки B и центра (F_1) и между притяжением центра и точки C (F_2):

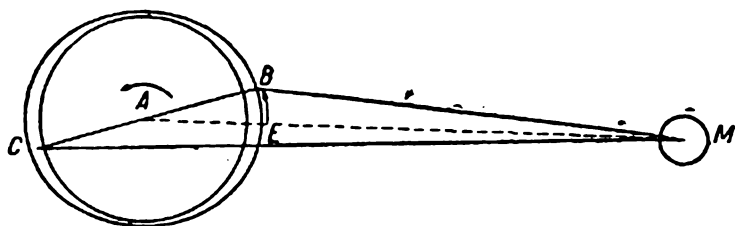
$$F_1 = \frac{1}{(x-1)^2} - \frac{1}{x^2} = \frac{2x-1}{(x-1)^2 x^2}; \quad F_2 = \frac{1}{x^2} - \frac{1}{(x+1)^2} = \frac{2x-1}{(x+1)^2 x^2}.$$

Так как x большое число (60), то F_1 и F_2 мало будут отличаться от одной и той же величины, которую мы обозначим чрез P :

$$P = \frac{2x}{x^4}, \text{ или } P = \frac{2}{x^3}.$$

наций бывает отлив, как будто Луна не притягивает, а отталкивает воду; в других—приближается даже к 12 часам, и в этих местах прилив наступает на несколько минут раньше *следующей* кульминации Луны.

Везде, где движение механической системы сопровождается трением, оно неминуемо должно замедлиться и, в конце концов, прекратиться. Никаких исключений из этого закона быть не может, и перед нами встает неизбежный логический вывод: приливы замедляют вращение Земли, другими словами—удлиняют продолжительность наших суток. Как же действует это трение? Ведь у Земли нет неподвижной твердой оси, о которую бы она терлась при вращении, как трется, например, колесо экипажа.



Черт. 4. Действие приливного трения на вращение Земли.

Будем для простоты считать Луну совершенно неподвижной и лежащей в плоскости земного экватора; Земля будет вращаться относительно Луны один раз в 24 часа 50 мин. Если бы вода земных океанов *мгновенно* подчинялась лунному притяжению, то концы приливных выпуклостей находились бы в точности на прямой линии, соединяющей Луну с центром Земли. Но вследствие трения, приливный горб поднимается уже после того, как Луна прошла через меридиан данного места, или, иначе говоря, после того, как это место уже значительно сдвинулось вперед по направлению вращения Земли. Таким образом оба приливных выступа *всегда* направлены несколько в сторону от прямой линии Земля—Луна (черт. 4). Без всяких механических рассуждений представляется очевидным, что Луна своим притяжением стремится выпрямить этот косо расположенный эллипсоид, т. е. направить к себе его острый конец. Действительно, представим себе, что на шарообразной Земле имеется только один приливный выступ, ближайший к Луне. Действуя на

эту добавочную массу, Луна сообщает Земле вращение, направленное назад, навстречу суточному вращению (так как этот выступ, как мы видели, слишком ушел вперед). Правда, на противоположный выступ Луна производит обратное действие, сообщает ему вращение по направлению суточного движения, так что если бы эти силы были равны по величине, то вращение Земли не испытало бы никакого изменения. Но второе действие, вследствие большего расстояния, несколько слабее, поэтому первое перевешивает, и вращение Земли, в результате, должно *замедлиться*.

Это тормозящее влияние приливного трения ничтожно по величине, но оно действует и действовало непрерывно в течение неисчислимых периодов времени, с тех самых пор, когда на Земле образовалась жидкая оболочка, способная поддаваться приливному силам. В нашу эпоху и в течение всей известной нам геологической истории такой оболочкой являлась и является вода, в еще более древние, догеологические времена — огненножидкая расплавленная масса, более густая, вязкая и более подверженная трению, чем водяная оболочка. Именно в те времена результаты приливного трения сказывались особенно быстро; к тем временам и относится большинство событий излагаемой ниже «приливной эволюции».

По основному закону механики всякому «действию» всегда соответствует равное и противоположно направленное «противодействие». Если Луна своим притяжением смещает приливные выступы, то и обратно — притяжение выступов вызывает некоторое изменение в движении Луны. Здесь опять играет роль разность притяжений: так как обращение Луны совершается в том же направлении, в каком вращается Земля, то притяжение ближайшего выступа должно ускорить движение Луны, а притяжение более далекого — замедлить. Перевес берет действие первой силы, результатом чего является, однако, не ускорение, а *замедление* обращения Луны.

Действительно с увеличением скорости растет и центробежная сила, и Луна слабей подчиняется влиянию земного притяжения, удерживающего ее на ее орбите. Поэтому она, получив некоторую «свободу», сейчас же стремится удалиться от Земли и начинает двигаться уже не по своей начальной орбите, а по орбите большего радиуса. Но с увеличением радиуса орбиты, по третьему закону Кеплера, движение небесного тела замедляется, и время его обраще-

ния становится дольше. Таким образом в системе Земля-Луна в течение веков идут два процесса—удлинение суток и удлинение месяца, идут не только одновременно, но и в теснейшей связи друг с другом. Эта связь дается уже известным нам законом сохранения момента количества движения: в системе Земля-Луна общий момент количества всех вращений должен оставаться неизменным, он все время сохраняет величину, вычисленную нами в прошлой главе (стр. 48); перераспределяются лишь доли Земли и Луны в этой общей сумме. Поэтому, когда вращение Земли замедляется и уменьшается, таким образом, ее количество вращения, то момент количества движения Луны, который равен произведению ее скорости на расстояние и массу, должен увеличиваться на такую же величину. Для этого должно возрасти расстояние до Луны; хотя скорость на большем расстоянии и будет меньше, по третьему кеплерову закону, но из этого же закона следует, что уменьшение скорости будет не так значительно, как увеличение расстояния, общее количество движения Луны возрастет¹. Таким образом про-

¹ Пусть v обозначает скорость планеты, a — ее среднее расстояние от притягивающего центра, T — время обращения a — так называемое: среднее движение (угол, описываемый в один сутки). Очевидно, среднее движение будет:

$$n = \frac{2\pi}{T};$$

со скоростью оно связано формулой:

$$v = a \cdot n.$$

Третий закон Кеплера выражается так:

$$\frac{T^2}{a^3} = c^2,$$

где c^2 — постоянное число.

Определив отсюда T и подставив его в первую формулу, получим:

$$n = \frac{2\pi}{c} \cdot \frac{1}{a^{3/2}}, \text{ или } n = \frac{k}{a^{3/2}},$$

где k — постоянное.

Умножив на a , получаем выражение для скорости:

$$v = \frac{k}{\sqrt{a}}.$$

Скорость убывает обратно пропорционально корню квадратному из расстояния; например, при увеличении расстояния в 4 раза скорость уменьшится только вдвое.

должительность «суток» и «месяца» связаны между собой математически. Зная одну из этих величин, мы легко можем вычислить другую.

Если месяц и сутки постепенно удлиняются, то, очевидно, прежде они были короче. Чем дальше мысленно мы углубляемся в прошлое, тем быстрее вращается Земля, тем ближе к ней стоит Луна и тем короче ее время обращения. К сожалению, у нас пока совершенно нет масштаба времени; мы знаем только, что когда-то сутки должны были быть, например, на час короче, чем теперь; но сколько миллионов лет назад это было—мы сказать не можем. А речь идет именно о миллионах и о десятках миллионов лет, а не о веках и тысячелетиях: как показывают наблюдения, за последние две тысячи лет длина суток изменилась так мало, что подметить это изменение с полной уверенностью до сих пор не удалось; оно составляет ничтожно малую долю секунды.

ИСТОРИЯ СИСТЕМЫ ЗЕМЛЯ-ЛУНА ПО ДАРВИНУ

Основываясь на предположении, что работа приливов шла непрерывно в течение всей прошлой истории Земли, Дарвин в целом ряде глубоких математических работ дал замечательную картину «приливной эволюции» нашей планеты и ее спутника. Он проследил назад постепенное изменение длины суток и месяца и пришел к выводу, что чем дальше мы углубляемся в прошлое, тем больше эти две величины приближаются одна к другой. Наконец, в некоторую эпоху, которую условно мы назовем «начальной», время вращения Земли оказывается равным обращению Луны. Начиная с этого момента до наших дней, эволюция системы Земля-Луна разворачивалась следующим образом.

Было время, когда Земля и Луна почти соприкасались. Это было очень давно: по первоначальным оценкам Дарвина не менее 50—60 миллионов, а по новейшим подсчетам Джефриса—примерно 4 *миллиарда* лет назад. Конечно, это не были теперешние твердые и холодные шары; но представляли ли они собой расплавленные жидкие или полужидкие массы или даже два газообразных клубка туманности—мы не знаем. Массы обоих тел находились в быстром вращении, Земля вращалась около своей оси в 4—5 наших теперешних часов, и во столько же времени обращалась около

все Луна или, вернее сказать, то вещество, из которого впоследствии образовалась Луна. Сутки, таким образом, равнялись месяцу, Земля все время была повернута к Луне одной стороной.

Это начальное состояние Земли и Луны в высшей степени замечательно. Вследствие громадной силы притяжения, происходившей от чрезвычайной близости спутника, жидкое тело Земли должно было сильно вытянуться по направлению к Луне, образовать громадные приливные выступы, но самих приливов в теперешнем смысле и связанного с ними трения в то время не было. Вследствие равенства суток и месяца Луна находилась все время против одного и того же полушария Земли, на котором был постоянный прилив («высокая вода»); на краях этого полушария был постоянный отлив, но смены приливов и отливов не происходило. Казалось бы, такое состояние могло продолжаться вечно и ни о какой «эволюции» не было бы и речи. Получилось бы то, что можно назвать равновесием движущейся системы. Но ближайшее математическое исследование показывает, что равновесие это было *неустойчивое*, как неустойчиво равновесие яйца, поставленного на острый конец. Такое «равновесие», как известно, существует только в теории, а не в действительности: какая-нибудь ничтожно малая сила, которая всегда найдется, неминуемо выведет яйцо из равновесия, и установить его в этом положении нам не удастся. Как учит механика, неустойчивое равновесие бывает в том случае, когда механическая система имеет наибольшую энергию (максимум энергии), т. е. может произвести наибольшую работу. Мы знаем, кроме того, что максимум (а также и минимум) какой-нибудь величины наступает тогда, когда она перестает изменяться.

Отчего же может изменяться общий запас энергии движения системы Земля-Луна? Только от приливов. Приливы производят работу, передвигают массы воды и морского песка, все время преодолевая при этом некоторое трение. Энергию для производства этой работы они заимствуют из общей энергии движения системы Земля-Луна, запас которой благодаря этому все время уменьшается. Когда же этого уменьшения нет, т. е. когда приливы не происходят, тогда общий запас энергии имеет максимум или минимум, и система находится в состоянии динамического равновесия. В это время, очевидно, кинетическая энергия, или живая

сила, остается постоянной—не расходуется. При этом равновесие будет неустойчивое во время максимума энергии и устойчивое—в минимуме.

Очевидно, в нашу «начальную эпоху» система находилась в максимуме энергии. Весь запас ее был в неприкосновенности, на приливное трение из него еще ничего не было израсходовано, и движение системы было поэтому неустойчиво. Как только под влиянием какой-нибудь случайной незначительной причины нарушилось, хоть в малейшей степени, строгое равенство вращения Земли с обращением Луны, это равенство уже больше не могло восстановиться; наоборот—разница между сутками и месяцем стала непрерывно расти, как растет наклон яйца, поставленного на острый конец, во время его падения на бок. Если бы, например, неизвестная случайная причина слегка укоротила обращение Луны, то сейчас же началось бы действие приливов. В этом случае оно было бы противоположно действию, рассмотренному нами раньше; результатом его, как легко видеть, было бы ускорение вращения Земли и еще большее приближение Луны, которое должно было закончиться падением ее на Землю. Но, очевидно, произошло другое: какая-то случайность несколько удлинила «месяц», т. е. время лунного обращения, и сейчас же приливная эволюция вступила в свои права. На Земле началась смена приливов и отливов, гигантских по величине в сравнении с теперешними, благодаря чрезвычайной близости спутника. Громадное трение в вязкой расплавленной массе, в которой вздымались приливные выступы, сравнительно быстро стало тормозить вращение планеты, отдалять спутника и удлинять время его обращения. Луна стала удаляться от Земли, описывая постепенно раскручивающуюся спираль. При этом месяц удлинялся быстрее, чем сутки; по приблизительным подсчетам Дарвина, прежде чем сутки увеличились вдвое, месяц успел удлиниться уже в несколько десятков раз. Вероятно, прошло меньше четверти всего времени, отделяющего нас от начала приливной эволюции, как месяц достиг продолжительности почти 20 наших теперешних суток, между тем как длина суток составляла к этому времени только 16 часов. Месяц содержал тогда 29 суток (тогдашних). После этого удлинение и суток и месяца продолжалось, но длина месяца увеличивалась уже не так быстро, отношение месяца к суткам стало медленно уменьшаться, и в настоящее время, как известно, составляет около 27

(длина «звездного месяца», т. е. истинного времени обращения Луны, равна 27 сут. 8 час.).

Такова прошлая история нашей Луны, как ее дает приливная эволюция. Та же математическая теория позволяет нам заглянуть и в будущее нашей системы. В формулах Дарвина мы прочитаем, что и в настоящее время приливное трение продолжает свою работу, но сутки теперь удлиняются быстрее месяца, и отношение месяца к суткам становится все меньше и меньше. Наконец, в невообразимо далеком будущем, до которого пройдет, по оценке Джефриса, по крайней мере в 10 раз больше времени, чем прошло с начала эволюции до наших дней, наступит важная эпоха в истории Земли. К тому времени, как месяц увеличится до 45—50 нынешних дней, сутки, увеличение которых теперь идет быстрее, достигнут той же длины. Месяц и сутки опять сравняются, как в начальную эпоху, и Земля снова будет повернута к Луне все время одним и тем же полушарием. Не будет существенной разницы между начальным и конечным положением. Движение системы теперь будет *устойчивое*, так как энергия ее уменьшится до минимума, и если какая-нибудь случайная сила нарушит равенство месяца и суток, то через некоторое время равенство это опять восстановится. Если бы наша система Земля-Луна не подвергалась действию никаких внешних сил, то такое состояние продолжалось бы вечно.

Эта фаза эволюции будет достигнута в невообразимо отдаленную эпоху, примерно через тысячи миллиардов лет. Если до той поры не разрушится планетная система и если на Земле сохранится вода (или какая-нибудь другая, не совсем твердая масса, способная поддаваться приливам), то хотя лунные приливы прекратятся, но останутся солнечные, которые в современную эпоху играют второстепенную роль. Если солнечным приливам будет предоставлено достаточно времени (а ввиду их слабости им времени надо много), то они опять приблизят Луну к нам и смогут, пожалуй, даже вызвать, в конце концов, или ее падение на Землю, или, по соображениям Джефриса, нечто более интересное. А именно, когда расстояние между центрами Земли и Луны станет равным так называемому *пределу Роша* ($2\frac{1}{2}$ земных радиуса), приливная сила на Луне достигнет громадных размеров. Какие же могут быть приливы на безводной и твердой Луне? Вспомним, что приливной силой называется просто раз-

ность притяжений самой близкой и самой далекой точек небесного тела. И вот к тому времени эта приливная сила *Земли* сначала вытянет Луну, заставит ее принять, примерно, форму яйца, обращенного острым концом к Земле, а затем и разорвет ее на множество отдельных мелких спутников. Эти спутники будут двигаться очень близко от Земли, очень быстро и очень тесной группой, так что между ними будут случаться частые столкновения, от которых они будут дробиться все больше и больше. В конце концов, Земля окажется окруженной целым роем очень маленьких тел, который будет обращаться вокруг нее приблизительно в одной плоскости и очень близко к ее поверхности.

Для Земли такая картина наступит лишь через тысячи миллиардов лет (если Земля к тому времени будет существовать). Но эти соображения интересны в том отношении, что таким путем могли образоваться кольца Сатурна.

РОЖДЕНИЕ ЛУНЫ

Теория приливного трения, прослеженная назад, доводит нас до начального неустойчивого положения, когда Луна обращалась вокруг Земли, почти соприкасаясь с ней. Она не отвечает на вопрос о том, что было раньше этого «начального положения», и, чтобы проникнуть в еще более раннюю историю нашей системы, мы должны прибегнуть к соображениям совсем из другой области.

Положение Луны в нашей планетной системе исключительное. Луну нельзя назвать спутником той же категории, как спутники всех остальных планет: она для этого слишком велика. Хотя три из четырех главных спутников Юпитера превышают ее по абсолютным размерам, но в сравнении со своей планетой-гигантом они являются крошечными. Самый большой из этих спутников, третий, имеет диаметр, в 25 раз меньший, чем диаметр Юпитера, а его масса не составляет и одной десятичной доли массы планеты. Совсем другое Луна. По отношению к Земле она представляется скорей планетой-сестрой, чем скромным спутником. Диаметр ее превышает четверть земного диаметра, масса только в 80 раз меньше массы Земли. Для воображаемых жителей других планет наша Земля, благодаря Луне, представляет единственную в своем роде достопримечательность солнечной системы, именно *двойную планету* необыкновенной

красоты: вообразите себе светило в 5—6 раз ярче Венеры и рядом с ним Марса, каким он кажется во время своей наибольшей яркости; эти светила то сходятся до полного слияния, то расходятся на расстояние, не превышающее видимого диаметра лунного диска (полградуса). Так видны Земля и Луна с Венеры. Хочется думать, что такой своеобразный спутник и возник особенным образом, не так, как многочисленные мелкие спутники других планет. Эти рядовые спутники так же незначительны в сравнении со своими планетами, как планеты в сравнении с Солнцем, и подобно им могли произойти из ничтожного остатка, который остался после образования центрального сгущения—планеты, из «атмосферы», окружавшей некогда почти уже сформировавшуюся планету. Луна вряд ли образовалась таким путем. Трудно допустить вокруг небольшой планеты такую гигантскую «атмосферу» и еще труднее представить себе, как эта атмосфера могла сгуститься в один единственный массивный шар, а не образовала множества мелких спутников, подобных, например, системе Сатурна. Представляется более вероятным, что Луна образовалась не из туманной оболочки, окружавшей центральное ядро, а из самого этого ядра в сравнительно позднюю эпоху эволюции. Согласно такому взгляду, появление нашей Луны есть результат грандиозной катастрофы, постигшей почему-то только одну планету солнечной системы.

Планета эта, третья по порядку от Солнца, развивалась, по видимому, тем же путем, как и первая и вторая планеты—Меркурий и Венера, которые, как известно, лишены спутников. Если бы этот нормальный путь не был нарушен страшным переворотом, то на месте нынешней Земли с ее спутником находилась бы одинокая планета, диаметр которой только на 3—4% был бы больше диаметра ее ближайшей соседки Венеры. Но какая-то причина вызвала отклонение этой планеты от спокойного хода постепенного сгущения и произвела *разрыв* всей массы на две неравные части, из которых потом и образовалась Земля и Луна. Что же это за причина? Ключ к решению загадки дают самые обстоятельства нашего начального момента приливной теории, именно—чрезвычайная быстрота вращения Земли в эту эпоху. Естественно возникает мысль, что в еще более ранний период Земля и Луна представляли одну массу, которая вращалась вокруг оси еще быстрее, например в 3 или 4 часа. При такой громадной

скорости должна была развиться колоссальная центробежная сила, которой одной, пожалуй, было бы достаточно, чтобы планета разорвалась, как разрывается на куски самый крепкий железный маховик, если машина пущена с чрезмерной скоростью. Куски, оторвавшиеся при этой катастрофе, соединились благодаря взаимному притяжению и образовали Луну. Но вероятнее, что этой катастрофе способствовала еще другая причина, указанная Дарвином, именно *солнечные приливы*.

Дарвин сомневается в том, чтобы центробежная сила, вызванная вращением в 4 или даже 3 часа, смогла сама по себе разорвать нашу первичную планету. Но действие солнечных приливов (лунных приливов тогда, понятно, еще не было) было бы в состоянии вызвать громадные потрясения во всей массе Земли и вместе с центробежной силой разорвать ее на куски. А между тем, солнечные приливы теперь сравнительно слабы, вдвое с лишком слабее лунных; такими же они были в те отдаленные времена, так как Солнце тогда вряд ли было к нам много ближе, чем в настоящую эпоху. Правда, если эти приливы происходили тогда в расплавленной вязкой «лаве», а не в воде, как теперь, то приливное трение должно было быть значительно. Но дело здесь не в трении, а совсем в другом приливном действии. Речь идет о великом физическом принципе *резонанса*, который прилагается везде, где только происходят колебательные движения. Совершенно безразлично, что именно колеблется—будет ли это маятник, вода, воздух или, наконец, эфир в луче света и в волнах радио; общие законы колебаний и волн остаются одинаковыми во всех случаях. Мы знаем, что колеблющаяся система имеет особый, присущий ей период колебания, который зависит от различных свойств этой системы, подобно тому как период простого маятника зависит от его длины. С этим периодом (так называемым свободным периодом колебания) наша система будет колебаться, если ее вывести из равновесия, т. е. попросту «дать толчок» и затем предоставить самой себе. Предположим теперь, что мы не ограничились только одним толчком, а повторяем их через одинаковые промежутки времени, действуя на систему некоторой периодической силой. Принцип резонанса и состоит в том, что даже самая слабая сила может чрезвычайно сильно раскачать систему, если период силы совпадает с периодом свободного колебания системы. Закон этот, в сущности, всем известен: все знают, что, например, качели раскачиваются легче всего, если их

толкать, хотя бы и слабо, но в такт с их размахами; если же наши толчки не будут согласоваться с периодом качаний, то некоторые из них непременно придутся навстречу движению качелей и остановят их, а не раскачают.

Мы не знаем, каковы были физические свойства нашей начальной планеты «Земля-Луна» в ту эпоху, когда она вращалась со своей наибольшей скоростью. Поэтому мы не можем определить точно периода ее свободных колебаний, но несомненно, что такой постоянный период у нее существовал. Так как колебания планеты не так легко себе представить, как качание качелей, то надо пояснить, что мы подразумеваем, когда говорим о свободных колебаниях небесного тела. Предположим, что первичная планета была жидкой, как это, вероятно, и было в действительности; если бы она не вращалась, то приняла бы шарообразную форму под действием взаимного тяготения своих частиц; на самом же деле благодаря быстрому вращению и вызванной им центробежной силе она будет иметь вид сплющенного эллипсоида (сфероида вращения). Пусть такое тело получает толчок, стремящийся сжать его в плоскости экватора; тот диаметр экватора, по которому направлена эта сила, укоротится, и тело по этому направлению сожмется, а по направлению перпендикулярному—вытянется, и на двух противоположных сторонах сфероида появятся выпуклости. Если сила перестанет действовать, то тело будет стремиться принять свою прежнюю форму, как стремится вернуться в вертикальное положение отклоненный маятник. Но, подобно маятнику, частицы нашего тела при своем обратном движении перейдут далеко за положение равновесия в противоположную сторону, и вся масса жидкого шара начнет колебаться или *пульсировать*. Эту пульсацию легче всего представить себе, если мы разделим экватор тела на четыре равных части; тогда попеременно будет наблюдаться то появление выступов в первой и третьей четвертях и впадин во второй и четвертой, то (через полпериода)—обратная картина. Период этих пульсаций нельзя определить точно, но, по всей вероятности, он заключается между $1\frac{1}{2}$ и 2 часами. Но ведь это как раз половина предполагаемых суток нашей первичной планеты, то есть период тех солнечных приливов, которым она подвергалась (вспомним, что в сутки бывает два прилива, а сутки тогда продолжались 3—4 часа). Таким образом период прилива совпадал в те времена с периодом свободных колебаний планеты. Приливы и представляли собой те слабые, но своевре-

менно сообщаемые толчки, которые могли мало-помалу довести колебания жидкой системы до каких угодно размеров.

Дело, по всей вероятности, происходило так. В самом начале период солнечного прилива (т. е. полусутки) не вполне совпадал с периодом свободных колебаний Земли, но с течением времени эти два периода приближались к равенству. Возможно, например, что скорость вращения Земли первоначально была несколько больше требуемой и постепенно замедлялась благодаря приливному трению солнечных приливов. По мере того как период прилива все больше приближался к периоду свободных колебаний, высота приливов, первоначально ничтожная, становилась все больше, и эта пульсация жидкого шара усилилась под конец до такой степени, что совместно с центробежной силой разорвала планету. Впоследствии оторвавшиеся части соединились в одно тело под действием взаимного притяжения и образовали Луну.

Нельзя ли в теперешнем состоянии нашей планеты и ее спутника найти указания на то, что Луна «родилась» именно таким образом? Луна имеет значительно меньшую плотность, чем вся Земля в целом, именно только $\frac{3}{5}$ земной плотности. Этого и следовало бы ожидать, если бы Луна образовалась описанным только что путем: в ее состав должны были войти частицы из поверхностных слоев Земли, из земной коры, менее плотной, чем центральное ядро нашей планеты, которое, по современным воззрениям, состоит преимущественно из железа и других тяжелых металлов. Но ничто не говорит нам, что этого не могло бы быть при любом другом способе образования Луны.

По всей вероятности, Луна отделилась от Земли еще в те времена, когда вся наша планета представляла огненно-жидкую массу. В этом случае, конечно, было бы бесполезно искать в строении нашего земного шара следы катастрофы, постигшей его задолго до образования твердой земной коры. Но не исключена возможность того, что рождение Луны произошло в более позднюю эпоху, хотя бы в то время, когда на поверхности планеты только начиналось затвердение. Тогда некоторые следы колоссального разрыва верхних слоев земного шара могли остаться до нашей эпохи. Высказывалось мнение, что такой след представляет впадина Тихого океана. Действительно, есть много оснований думать, что за все время известной нам геологической истории Земли на месте этого величайшего из океанов никогда не было значительной суши;

эта часть земной поверхности всегда представляла собой впадину. Здесь и видят некоторые геологи след рождения Луны, если можно так выразиться—еще не вполне изгладившийся шрам от давно зажившей страшной раны на том месте, где когда-то от тела Земли отделился ее единственный спутник. Кажется, впрочем, что этот взгляд не разделяется большинством современных геологов.

Мы увидим дальше, что самые веские доказательства возможности образования Луны путем разрыва дает совсем другой отдел астрономии, именно теория происхождения двойных звезд.

ПОДТВЕРЖДЕНИЯ ГИПОТЕЗЫ ДАРВИНА

Есть одно небесное явление, с которым мы почти так же сроднились, как с восходом и заходом Солнца, и поэтому не видим в нем ничего удивительного. Это—неизменность «лунного лица». Все пятна на диске Луны постоянно сохраняют одно и то же расположение; пятна, которые мы привыкли видеть, например, у центра диска, никогда не передвигаются к краю, пятна у края никогда за него не уходят—словом, к Земле всегда обращена одна и та же сторона Луны, а другая от нас постоянно скрыта. Простейшее объяснение этого факта, которое первым приходит в голову, есть то, что Луна вовсе не вращается вокруг своей оси. Такое отсутствие вращения было бы исключением из общего правила, по которому все известные нам члены планетной системы имеют вращательное движение, но само по себе не представляло бы чего-нибудь особенно поразительного. Но в действительности Луна вращается вокруг оси. В этом легко убедиться, если рассмотреть, как представляется Луна наблюдателю, который находился бы, например, на Солнце. Мы знаем, что Солнце освещает то видимое нами лунное полушарие (в полнолуние), то противоположное (в новолуние). Следовательно, с Солнца можно было бы видеть последовательно всю поверхность лунного шара, и наблюдатель бы видел, что Луна делает один оборот около своей оси как раз во столько же времени, сколько ей нужно, чтобы совершить одно обращение вокруг Земли. Вот это равенство периодов вращения Луны вокруг оси и обращения вокруг Земли и является в высшей степени замечательным. Равенство это не приблизительное, а абсолютное. Если бы между периодами обращения и вращения была разница хотя бы в ничтожную

долю секунды, то при каждом новом обороте эта разница накаплилась бы и по истечении тысячелетий к нам повернулось бы то полушарие, которое вначале было невидимо.

Но ведь период «обращения» и период «вращения» небесного тела не находятся друг с другом ни в какой связи, поэтому невероятно, чтобы эти два периода случайно оказались между собой даже соизмеримыми¹, не только что равными. Например, год (время обращения Земли) несоизмерим с сутками, точно так же времена вращений всех прочих планет совершенно не находятся ни в какой зависимости от периодов их обращений около Солнца. Абсолютное равенство этих двух периодов указывает на существование какой-то физической причины. Такой причиной являются приливы, но только не земные приливы, вызываемые действием Луны, а *приливы на Луне*, возникающие благодаря притяжению Земли. Правда, на Луне в настоящее время нет воды: всем известные темные пятна на ее диске, так называемые лунные «моря», представляют собой громадные, совершенно безводные равнины; возможно, что когда-то они действительно были покрыты водой, и тогда на Луне происходили морские приливы, подобные приливам наших океанов. Но если даже это не так, если, как теперь предпочитают думать, на Луне никогда не было больших водных бассейнов, то приливы могли происходить в ее расплавленной массе, а приливное трение в вязкой полужидкой лаве, как мы знаем, гораздо сильнее трения океанских приливов.

Очевидно, приливы на Луне должны были быть гораздо больше приливов, вызываемых на Земле Луной, так как тело, производившее приливы на Луне, наша Земля, имеет в 80 раз большую массу. Отсюда, впрочем, далеко еще не следует, что приливы на нашем спутнике поднимались в восемьдесят раз выше, чем приливы наших морей. Приливная сила, как мы видели выше, есть разность притяжений на самую близкую и самую далекую точку небесного тела, а так как благодаря малым размерам Луны эта разность для Луны значительно меньше, чем для Земли, то вследствие этой причины прилив-

¹ Две величины называются соизмеримыми, если их отношение выражается целым или конечным дробным числом, например $\frac{8}{15}$, 1,73 и т. п., и несоизмеримыми, если это отношение нельзя представить никакой дробью (хотя бы периодической). Например, длина окружности несоизмерима с диаметром круга.

ная сила ослабляется. Но ослабление это перевешивается увеличением массы притягивающего тела и, в конечном счете, приливы на Луне были гораздо больше наших земных приливов. Кроме того, так как масса Луны меньше земной, то ее вращение легче поддается изменению. Все это говорит нам, что действие приливного трения было значительно сильнее на Луне, чем на Земле, и результаты его должны были там сказаться гораздо раньше.

Каковы же эти результаты? Мы знаем, что приливное трение стремится затормозить вращение того тела, на котором возникают приливы, и ведет, таким образом, к постепенному удлинению его «суток». Но конечно состояние, к которому стремится тело, подверженное приливам, вовсе не есть полная остановка вращения. Светило, возбуждающее приливы, стремится только не дать приливному выступу уйти вперед с линии, соединяющей центры обоих тел (мы имеем в виду случай, когда вращение тела быстрее обращения тела, возбуждающего приливы). Всякое стремление приливного «горба» сдвинуться вперед вызывает силу, стремящуюся его повернуть обратно, и так будет до тех пор, пока эта цель не будет достигнута, т. е. пока приливный «горб» не окажется уже навсегда направленным к возбудителю приливов. Тогда время обращения последнего сравняется с периодом вращения светила, на котором он производил приливы, а самые приливы уже прекратятся. Такая судьба, как мы знаем, ожидает нашу Землю в чрезвычайно отдаленную будущую эпоху.

Но то состояние, которое для Земли является далеким будущим, для Луны уже есть настоящее. Громадные приливы, которые поднимала Земля на своем спутнике, давно уже привели вращение Луны в полное согласие с ее обращением вокруг планеты и направили приливные выступы, теперь затвердевшие, в точности по линии центров обоих небесных тел. Отсюда следует, между прочим, что Луна должна быть слегка вытянута по направлению к Земле, но это удлинение крайне ничтожно (наибольший диаметр Луны, по новейшим определениям, больше наименьшего приблизительно на 3 километра, т. е. менее чем на одну тысячную).

Таким образом неизменность «лунного лица» есть факт глубокого значения. Он наглядно показывает, какие колоссальные результаты может произвести ничтожная сила приливного трения, действуя в течение громадных периодов; кроме того, он говорит нам о будущем состоянии нашей системы, когда

Земля тоже в конце концов уступит действию приливной силы и прекратит всякое вращение относительно своего спутника, как он давно уже сделал это относительно нашей планеты. Тогда оба тела будут двигаться так, как будто они соединены твердым стержнем.

Особенность вращения Луны является главным доказательством гипотезы Дарвина. Это единственное доказательство, которое не оспаривается, кажется, никем из противников его теории. Убедительность его усиливается тем обстоятельством, что и у спутников других планет также, повидимому, наблюдается совпадение периодов вращения около оси и обращения вокруг планеты. Это почти доказано для всех четырех больших спутников Юпитера и для некоторых спутников Сатурна. Хотя определить вращение спутников до сих пор не удалось прямым путем, т. е. по наблюдению пятен на их крошечных дисках, но замечательная изменчивость яркости многих из них может быть объяснена только допущением, что время их вращения вокруг осей равно периоду обращения. Именно, в течение оборота вокруг планеты их яркость изменяется, и период этого изменения равен периоду обращения: например, 8-й спутник Сатурна, Япет, к западу от планеты неизменно кажется в пять раз ярче, чем к востоку. Очевидно, одно полушарие этого спутника несравненно темнее другого, и в восточной части орбиты к нам всегда повертывается темное полушарие, а в западной—светлое; следовательно, период вращения спутника вокруг оси действительно равен времени его обращения. Хотя происхождение спутников Юпитера и Сатурна, по всей вероятности, иное, чем происхождение нашей Луны, но приливная эволюция разыгрывалась и в этих отдаленных системах; приливы, возбуждавшиеся на спутниках их планетам-гигантами, затормозили вращение этих маленьких светил, между тем как во вращении самих планет крайне слабые приливы от спутников вряд ли могли вызвать сколько-нибудь заметное изменение.

Если действительно верно утверждение итальянского астронома Скиапарелли, что планета Меркурий всегда обращена одной стороной к Солнцу, то это должно считаться результатом действия солнечных приливов, которые на этой планете довольно значительны, благодаря ее близости к Солнцу.

Непонятное с точки зрения гипотезы Лапласа обращение первого спутника Марса, Фобоса, также было очень просто объяснено Дарвином на основании его теории. Он считает,

что вращение Марса прежде было гораздо быстрее и замедлилось благодаря солнечным приливам, так что время вращения планеты теперь вдвое длиннее времени обращения спутника. Подобным же образом (но с меньшей вероятностью) может быть объяснено и быстрое движение внутреннего кольца Сатурна.

Заметим еще, что Дарвин исследовал математически вопрос о причине отклонения орбит планет и Луны от правильной круглой формы («эксцентриситет»), а также о происхождении взаимного наклона плоскостей этих орбит, и показал, что эти отклонения также могли быть вызваны приливным трением. Но он сам признает, что полного объяснения здесь приливная теория дать не может. Например, она показывает, как могло увеличиться уже существовавшее наклонение оси вращения планеты к плоскости ее орбиты, но не в силах объяснить появление начального наклонения, причина которого остается неизвестной.

Вот в основных чертах знаменитая теория приливной эволюции, одна из самых интересных и глубоких астрономических теорий прошлого столетия. Против нее было выдвинуто много возражений, главным образом, сводящихся к тому, что числовые величины, положенные в основу расчетов Дарвина, слишком плохо известны, а между тем малейшее изменение их значений (например, величины внутреннего трения планеты) может в некоторых случаях совершенно изменить результат вычисления. Поэтому возможно, что роль приливов в истории мироздания не так велика, как думал создатель этой теории, но принципиальная правильность ее установлена достаточно прочно.

Теория приливов является одним из самых ярких примеров, показывающих, как тесно связаны между собой самые, казалось бы, далекие отделы науки, и как трудно бывает заранее предвидеть всю важность того или другого научного вопроса.

8. НЕБУЛЯРНЫЕ ГИПОТЕЗЫ XIX—XX вв.

Лаплас создал свою гипотезу в то время, когда изучение туманностей только начиналось. Можно было ожидать, что более близкое знакомство с этими своеобразными небесными телами даст доказательства в пользу его гипотезы, что среди тысяч туманностей будут найдены образчики той гипотетической лапласовой туманности, которая так часто изображается

в популярных книгах. Но эти ожидания не оправдались: туманного шара, окруженного концентрическими круглыми кольцами, найти не удалось, и система Сатурна остается единственным небесным объектом, который может служить, до некоторой степени, подтверждением правильности гипотезы Лапласа в ее чистой форме. Поэтому в течение второй половины XIX века было сделано множество попыток заменить эту гипотезу другими построениями, в которых процесс образования колец или совсем устраняется, или происходит совершенно иначе. Основная идея всех этих гипотез та же, что и у гипотезы Лапласа: доказать, что некоторая туманность, представленная сама себе, без воздействия внешних сил, должна развиться в планетную систему. Так как туманность по-латыни *nebula*, то все гипотезы этого типа называются *небулярными*. Упомянем наиболее интересные из них.

По вихревой гипотезе Фая (Faye, 1884) планеты образовались в результате вихревых движений, возникших внутри первозданного хаоса и по своим механическим свойствам вполне подобных вихрям нашей атмосферы. Материя, втянутая в вихревые кольца, дает начало ряду планет, а из частиц, втянутых к самому центру вихря, образуется впоследствии центральное сгущение—Солнце. Таким образом, по Фаяю, некоторые планеты, в том числе и Земля, возникли *раньше* Солнца. Гипотеза эта одно время получила довольно большую популярность. Но во многих отношениях она менее удовлетворительна, чем гипотеза Лапласа.

Гипотеза Лигонде (Ligondès, 1897) пыталась возродить идеи Канта и показать, что из роя неупругих метеоров, беспорядочно носящихся по всем направлениям, может получиться, в результате бесчисленных столкновений и соединений частиц, сплюснутая туманность, вращающаяся вокруг своего наименьшего диаметра.

У обоих этих авторов начальная туманность не газообразная и раскаленная, как у Лапласа, а холодная и состоящая из отдельных твердых частиц, пылинок или метеоров. По современным данным это воззрение ближе соответствует природе нам известных туманностей.

Карл Браун (1889) предполагает, что первичное туманное Солнце, образовавшееся из собрания масс, упавших к центру притяжения, вначале не имело вращательного движения и было приведено во вращение косым ударом какого-нибудь особенно мощного клубка туманного вещества (вспомним

«комету» Бюффона). Во вращение были приведены сперва внешние слои Солнца, затем движение постепенно передалось центральному сгущению. Вторичные центры сгущения дали начало планетам, которым вначале пришлось двигаться внутри сопротивляющейся среды самой туманности. Одним из результатов сопротивления среды явилось вращение планет (внутренних) вокруг осей в прямом направлении, а не в обратном, как должно было быть по исправленной гипотезе Лапласа (см. выше): туманность была тем плотнее, чем ближе к центру, поэтому внутреннее (обращенное к Солнцу) полушарие планетного клубка испытывало более сильное сопротивление, чем внешнее, более далекое полушарие. Эта ничтожная разность сил сопротивления, действуя в течение громадных периодов времени, должна была сообщить планете вращение в том же направлении, в каком она обращалась вокруг Солнца. Гипотеза эта интересна тем, что в ней учтено сопротивление среды, играющее важную роль в современных теориях.

Наконец, В. Г. Фесенков в 1918 г. высказал гипотезу, по которой важную роль в развитии охлаждающейся туманности могут играть так называемые *конвекционные токи*. Оказывается, что если при этом туманность еще и вращается, то происходят очень сложные явления. Нарушенное тепловое равновесие газовой массы стремится восстановиться, охладившиеся частицы с поверхности опускаются внутрь, а на место их поднимаются из глубин туманности более горячие массы вещества. Получается непрерывный круговорот, который и называется «конвекционными токами». Вследствие вращения туманности пути этих токов выходят довольно сложными, и внутри нее постоянно происходит соприкосновение неодинаково движущихся газовых масс, имеющих различную плотность и температуру. Между ними получается резкая граница, так называемая «поверхность раздела». Известно, какую важную роль играют подобные поверхности раздела нашей атмосферы в современной метеорологии. На них образуются воздушные «волны», а при достаточных скоростях—даже «вихри». Такими вихрями внутри Солнца немецкий астрофизик Эмден объясняет появление солнечных пятен. По мнению Фесенкова, подобные же вихри внутри первичной туманности дали начало планетам. Именно, каждая планета образовалась из вещества, которое было «всосано» таким, давно уже разошедшимся вихрем; на его месте осталось потом

сгущение втянутой им материи, вращающееся в том же направлении. Можно доказать, что это вращение должно быть прямым, что оси вихрей направлены приблизительно параллельно оси вращения туманности и что наиболее устойчивыми являются те вихри, которые образуются близ экваториальной плоскости первичной туманности. Вещество, всосанное каждым таким вихрем, с течением времени сгустилось и образовало планетное сгущение, которое впоследствии и превратилось в планету. Но невозможно решить, могут ли вихри, образующиеся в туманности, дать достаточно плотные «планетные» сгущения. Поэтому сам автор этой гипотезы в настоящее время на ней, повидимому, не настаивает. Кроме того, результаты современной звездной астрономии решительно расходятся с основными положениями всех небулярных гипотез. К рассмотрению этих результатов мы и перейдем.

9. ПРИРОДА ТУМАННОСТЕЙ

ВНЕГАЛАКТИЧЕСКИЕ ТУМАННОСТИ

Долгое время изучение туманностей не могло внести ничего нового в грандиозную, но крайне схематическую картину постепенного уплотнения туманностей в звезды, нарисованную Вильямом Гершелем (стр. 15). Только в сороковых годах прошлого века английский любитель астрономии Росс (Rosse, 1800—1867) в свой гигантский зеркальный телескоп, который более полувека оставался величайшим рефлектором в мире, рассмотрел в туманностях совершенно неожиданные детали. Он показал, что целый ряд туманностей, представляющих в меньшие инструменты очень простыми по виду (например, круглыми или овальными), в действительности имеет сложную, но в то же время и математически правильную, спиральную форму. Открытие это вызвало всеобщее удивление, но только применение фотографии к изучению туманностей, начавшееся через полвека, показало всю его важность. Особенно велики в этом отношении заслуги Килера (Keeler, 1857—1900), безвременно умершего блестящего американского астрофизика. Замечательные снимки туманностей, которые он получил в 1898 г. с помощью знаменитого «рефлектора Кросслея» на обсерватории Лика, открыли астрономам целый новый мир, несравненно более грандиозный, чем мир звезд, и к разгадке которого мы только приступаем. На некоторых фото-

графиях Килера туманности насчитываются сотнями, и большая часть этих, в высшей степени слабых объектов обнаруживает спиральное строение. Килер считал, что общее число туманностей, доступных его трехфутовому (91 см) рефлектору, составляет на всем небе не менее 120 000. Позднейшие исследователи дают еще более высокие цифры: до миллиона туманностей оставляют свои отпечатки на современных астрономических фотографиях. Не мешает заметить, что громадное большинство их абсолютно не видно глазом ни в какие телескопы, и без содействия фотографии мы, по всей вероятности, никогда бы не узнали об их существовании¹. Хотя мнение Килера, что спирали являются преобладающими среди других типов туманностей, и оспаривается теперь другими астрономами, но все же общее число спиральных туманностей должно быть весьма велико (есть места на небе, где спиральных туманностей больше, чем звезд), и сразу стало ясно, что они должны играть какую-то очень важную роль в мироздании.

Строение спиральных туманностей довольно сложно, и разные туманности этого класса сильно отличаются одна от другой, но основные черты у всех одинаковы. Главную часть такой туманности составляет «ядро», или центральное сгущение, приблизительно круглой формы, из двух диаметрально противоположных точек которого выходят две «струны», или «ветви» светящейся туманной материи. Эти ветви, сейчас же после выхода из ядра, загибаются обе в одну и ту же сторону (т. е. или обе по движению часовой стрелки, или же обе против часовой стрелки) и идут кругом ядра двумя раскручивающимися, иногда очень правильными спиралями. Впрочем, обычно правильность формы нарушается различными изломами, сгущениями и разрывами ветвей. В тех случаях, когда плоскость спирали перпендикулярна к лучу зрения, туманность имеет приблизительно круглые очертания. Но обыкновенно мы видим спираль под большим или меньшим углом наклона, и она представляется нам овальной; при этом отдельные витки спирали отчасти налегают друг на друга, подобно кольцам Сатурна, как они видны с Земли. Такова, например, величайшая из всех спиральных туманностей, зна-

¹ Дело в том, что слабый свет от столь удаленных объектов не вызывает в глазу ощущения есть же эта, хотя и слабая, световая энергия в течение часов действует на одно и то же место фотографической пластинки, то след остается.

менитая туманность в созвездии Андромеды, легко видимая простым глазом. В самые мощные телескопы она представляется веретенообразным туманным пятном, без каких-нибудь отчетливых характерных подробностей. И вот, когда на исторической фотографии Робертса (1888) туманность эта явилась в виде мощной системы эллиптических колец вокруг большого центрального ядра, то сперва можно было подумать, что наконец-то найдена «лапласовская туманность». Но очень скоро выяснилось, что эти кольца представляют собой не что иное, как ветви гигантской спирали; они выходят из центрального сгущения, но истинная природа туманности не бросается в глаза сразу, так как мы смотрим почти в ребро спиральной системы (фиг. V, VI).

Что придавало спиральным туманностям особую загадочность,—это их спектр. Казалось почти очевидным, что наблюдающиеся в них «клубки» и изогнутые, прерывистые «струи» должны представлять собой массы светящихся газов. Между тем спектр¹ их сплошной, напоминающий спектр Солнца. Это доказывало, вопреки всякой «очевидности», что спиральные туманности состоят из звезд, что это громадные звездные скопления, причем звезды, составляющие скопление, так слабы, что увидеть их в отдельности («разложить скопление на звезды») невозможно даже в сильнейшие инструменты. Сравнительно скоро было выяснено, что эти туманности очень далеки, что свет от них доходит до нас по меньшей мере через несколько десятков тысяч лет, а может быть, и через миллионы лет. Такая неопределенность не позволяла составить сколько-нибудь точное представление об их размерах. Некоторые ученые давно уже высказывали мнение, что каждая спиральная туманность—невообразимо далекая звездная вселенная, подобная нашему Млечному Пути, и что каждый «узелок» на ветви спирали является звездным скоплением, состоящим из тысяч солнц. Другие же видели в них всего только клубки космической пыли, находящиеся сейчас же за пределами нашей звездной системы и, таким образом, связанные с ней. Такая гипотеза высказывалась и хорошо обосновывалась Линдеманом

¹ Спектром называются радужная полоска, которая получается, если свет от какого-нибудь источника (например от Солнца) пропустить сквозь стеклянную призму. Такой семицветный «сплошной» спектр дают только раскаленные твердые и жидкие тела; светящиеся пары и газы дают спектр из нескольких отдельных ярких линий — «линейчатый» спектр.

еще совсем недавно, в 1924 г. Только замечательные работы Хаббла (Hubble), опубликованные в 1925/26 г., раскрыли в главных чертах строение спиральных туманностей.

До 1922 г. спиральные туманности считались стоящими совершенно особняком среди прочих туманностей. Они резко выделяются своим сплошным спектром, подобным спектру звезд. Поэтому их противопоставляли всем остальным, «газовым» туманностям. Думали, что всякая туманность, дающая сплошной спектр, при ближайшем исследовании должна обнаружить спиральное строение. Такого взгляда держались, например, астрономы Ликской обсерватории, ученики и продолжатели работ Килера.

Но последние исследования, главным образом на «Солнечной обсерватории» на горе Вильсон (Калифорния), располагающей самыми мощными инструментами в мире, заставили значительно изменить этот взгляд. Оказалось, что существует очень много туманностей, которые обладают всеми характерными особенностями спиралей—тем же сплошным спектром, той же симметрией формы, таким же центральным ядром, обнаруживают то же своеобразное распределение по небу, имеют такие же громадные скорости по лучу зрения, короче говоря, имеют все черты этого класса туманностей, кроме главной—спирального строения. Хаббл дал в 1922 г. первую классификацию «негалактических» туманностей, т. е. не лежащих в Млечном Пути, которые до тех пор все причислялись к одному классу—к спиральным. Хаббл различает теперь среди них три (собственно даже четыре) класса: 1) спиральные; 2) продолговатые, которые, в свою очередь, разделяются на а) веретенообразные и б) овальные; 3) шарообразные туманности. Между этими классами существует непрерывный переход, и отличаются они друг от друга только формой, по которой каждый класс и получил свое название. В 4-й класс включены сравнительно не часто встречающиеся неправильные туманности, которые отличаются, как показывает их название, от трех предыдущих «правильных» классов своей неправильной формой.

Все четыре перечисленных класса туманностей теперь объединяются в один отдел по их главному общему признаку—положению в пространстве. Все они находятся за пределами нашей звездной системы, нашего Млечного Пути, который по-гречески называется «галактика». Отсюда туманности этого отдела получили название *внегалактических* туманностей.

Наконец в 1925 г. Хаббл удалось, с помощью величайшего в мире 100-дюймового рефлектора, отчасти разложить на звезды спиральные ветви двух самых ярких туманностей этого класса в созвездиях Андромеды и Треугольника (фиг. VII). Это дало возможность определить расстояния и размеры туманностей. Среди тысяч звезд от 18-й до 20-й величины, которые вышли на фотографиях, многие оказались переменными; на пластинках, снятых в разные дни, они имели различную яркость. Закон изменения их яркости был исследован, и было найдено, что большинство этих переменных звезд принадлежит к замечательному классу так называемых звезд *цефеид* (самая известная звезда этого типа находится в созвездии Цфея). В этих загадочных звездах все время происходит какая-то периодическая, очень правильная пульсация, которая и вызывает небольшие изменения яркости. Какова бы ни была причина этой пульсации, она обладает очень счастливым для астрономов закономерностью: период изменения яркости зависит от истинной величины звезды—чем звезда больше и ярче, тем медленнее она пульсирует. Таким образом, зная период изменения звезды, можно довольно точно рассчитать, во сколько раз звезда в действительности ярче нашего Солнца (все цефеиды—«гиганты», в сотни и тысячи раз ярче Солнца), а сравнив ее истинную яркость с видимой, нетрудно сообразить и расстояние. Этим способом и было впервые измерено расстояние спиральных туманностей, и полученные результаты были подтверждены другими методами¹.

Расстояние обеих туманностей оказалось почти одинаковым, около 900 000 световых лет. Столько времени нужно свету, пролетающему в секунду 300 000 км, чтобы дойти до нас от отдаленных миров, которые являются, как мы теперь знаем, *ближайшими* к нам спиральными туманностями!

После этого открытия изучение мира внегалактических туманностей пошло гигантскими шагами, благодаря, главным образом, работам Шэпли (Shapley) и его сотрудников на Гарвардской обсерватории. В результате этих работ картина мироздания вырисовывается в следующих очертаниях.

¹ Полагая, что звезда в действительности в 100 раз ярче Солнца. Тогда, по известному закону физики, звезда нам будет казаться такой же яркой, как Солнце если будет находиться дальше Солнца в 10 раз ($10^2 = 100$). Если же звезда кажется слабее Солнца, например, в миллион миллионов раз, то это значит, что она еще в миллион раз дальше, т. е. в 10 миллионов раз дальше Солнца.

Материя во вселенной сосредоточена в отдельных «вселенных-островах» (island universes), разбросанных в «океане» мирового пространства. Расстояние от одного «острова» до ближайшего, в среднем, составляет почти 2 миллиона световых лет, но бывает, как увидим дальше, и значительно меньше. Каждый «мировой остров» есть то, что мы называем внегалактической туманностью; каждый из них—целая звездная система, самостоятельный млечный путь, или «галактика». Диаметры их—от 3 000 до 50 000 световых лет (одна из величайших—туманность Андромеды), состав каждой галактики—миллионы звезд и, отчасти, космическая пыль и газы. Звезды удаюсь различить только в немногих, наиболее близких галактиках и, конечно, пока только самые яркие звезды-гиганты. Возможно, что в неспиральных галактиках, например, в шаровых, звезд и совсем нет (хотя они, впрочем, дают сплошной спектр), но размеры их и положение в мироздании, повидимому, те же, что у спиралей. Хэббл считает, что его стоидеймовому рефлектору доступны галактики, свет от которых идет до нас в течение 150 миллионов лет. Понятно, что каждая из таких далеких звездных вселенных выходит на фотографии еле заметной точкой, которую трудно отличить от звезд.

Замечательно, что эти «вселенные-острова» имеют склонность образовывать своего рода «архипелаги» в океане мирового пространства. Шэпли насчитывает уже до 40 таких скоплений галактик, или «сверхгалактик», которые доступны его сравнительно скромному двухфутовому рефлектору. Так в созвездии Центавра, на участке неба, площадь которого меньше площади туманности Андромеды, сосредоточено свыше 400 туманностей от 16-й до 18-й величины. В действительности эти сотни галактик, имеющих диаметры от 10 до 40 тысяч световых лет, собраны там внутри пространства, которое свет проходит от края до края в 6—7 миллионов лет, причем в некоторых случаях расстояния между туманностями оказываются меньше их диаметров, галактики почти соприкасаются. Расстояние до этой сверхгалактики около 150 миллионов световых лет.

Так как диаметр звездной системы нашего Млечного Пути все-таки значительно больше, чем у самой большой спиральной туманности, то Шэпли высказал в 1930 г. мысль, что Млечный Путь не есть одна спиральная система, как часто предполагали, а собрание нескольких звездных систем или спиральной, или, скорее, неправильной формы. Иначе говоря, наша галак-

тика не галактика, а сверхгалактика и притом, в сравнении, например, со сверхгалактикой Центавра, совсем скромных размеров, так как ее диаметр оценивается не миллионами, а только сотнями тысяч световых лет.

Остается еще сказать о движениях, которые удалось подметить в этих туманностях. Что в спиральных туманностях идет какой-то механический процесс и притом не очень сложный, обещающий поддаться математическому исследованию, это представлялось очевидным уже по самой их форме, напоминающей вид известного вертящегося фейерверка.

Сильная сплюснутость указывает на быстрое вращение всей массы туманности; кроме того, надо было ожидать, что происходит движение и вдоль ее спиральных ветвей («течение»). Предполагали, например, что вещество ветвей стремится к центральному ядру под действием силы тяготения и что туманность, таким образом, сжимается; возможен и обратный процесс: истечение материи из ядра и постепенное раскручивание всей туманности. Так как расстояния туманностей огромны, то эти движения должны нам казаться крайне медленными, и можно было опасаться, что пройдет много лет, прежде чем их удастся обнаружить путем наблюдений.

Но уже в 1916 г. пулковский астроном С. К. Костинский сумел подметить несомненные признаки вращательного движения в самой известной из спиральных туманностей М 51 (т. е. № 51 по каталогу Messier, в созвездии Гончих Собак, фиг. V), а к настоящему времени, благодаря исследованиям, главным образом, американских астрономов, располагающих богатейшими инструментальными средствами, мы имеем сведения о движении более чем десятка спиралей. Оказалось, что правильно второе из названных выше предположений: во всех исследованных до сих пор туманностях материя, т. е. звезды, движется вдоль «ветвей» спирали от ядра наружу, а самые ветви вращаются вогнутой стороной вперед, так что спираль раскручивается. Хотя скорости отдельных точек спирали составляют сотни километров в секунду, вращение всей туманности происходит, с нашей человеческой точки зрения, очень медленно: по оценкам ван-Маапена (van Maanen) время одного оборота исследованных им спиралей колеблется, для разных туманностей, от 45 до 160 тысяч лет. Очевидно, смещения точек туманности за какой-нибудь десяток лет, который был в распоряжении современных исследователей, ультрамикроскопически малы, и измерения крайне трудны и ненадежны.

Так, по новейшим измерениям Лундмарка, вращение туманности в созвездии Гончих Собак происходит медленнее, чем получил ван-Маанен, в десять раз.

Итак, при наших поисках «первозданной» туманности внегалактические туманности мы должны оставить в стороне. Спиральные туманности оказались не туманностями, а звездными системами. Что же касается остальных внегалактических туманностей, то в них мы можем видеть формирующиеся мировые системы, но это должны быть звездные, а не планетные системы. К этому мы еще вернемся.

ГАЛАКТИЧЕСКИЕ ТУМАННОСТИ

Если из списков туманностей вычеркнуть все внегалактические системы, то настоящих туманностей останется необыкновенно мало—не больше 5—6 сотен. Все они находятся к нам сравнительно близко и принадлежат к составу звездной системы нашего Млечного Пути. Поэтому их называют *галактическими* туманностями. Они разделяются только на два класса: туманности *планетарные* и туманности *неправильные* (диффузные).

Планетарные туманности в инструменты средней силы представляются маленькими круглыми или овальными дисками, напоминающими диски планет (отсюда их название); в центре диска обыкновенно видна слабая звездочка. В действительности же это шары или эллипсоиды из крайне разреженных свягающихся газов, несомненно вращающиеся с периодами в тысячи лет. Диаметры их, по нашему масштабу, громадны—в сотни раз больше диаметра всей нашей планетной системы, но ничтожны в сравнении с размерами внегалактических туманностей. Считать эти образования за «будущие солнца» было очень заманчиво; в нашей звездной системе они занимают то же положение, по своим размерам, движениям, расстоянию, что и звезды, и можно было думать, что перед нами действительно звезды, еще не сформировавшиеся в настоящие солнца. Но современные исследования показали, что если планетарные туманности и представляют одну из звеньев развития звезд, то только звезд совершенно исключительных в целом ряде отношений. Выяснилось, например, что планетарные туманности стоят в каком-то отношении к «новым звездам», которые несомненно представляют собой какие-то катастрофические явления в жизни звезд. Поэтому и планетарные туманности

должны считаться отклонениями от обычного хода звездного развития. На это указывает, пожалуй, также их сравнительная малочисленность: до сих пор их известно всего около 150.

Есть основания думать, что эти загадочные образования надо считать скорее концом развития звезд, чем началом. Никакого перехода и никакой связи между этим классом и следующим не обнаружено (фиг. VIII).

Остается, таким образом, только один класс «газообразных» туманностей—*неправильные* туманности, примером которых является знаменитая туманность в созвездии Ориона (фиг. I). Как и планетарные туманности, они находятся к нам сравнительно «близко» (туманность Ориона, например, на расстоянии всего 600 световых лет, т. е. несравненно ближе спиралей) и представляют громадные, недообразимо разреженные массы светящихся газов и космической пыли. Эти туманности еще в начале XX века дали, казалось, новое и блестящее доказательство превращения туманностей в звезды. Всем знакомы великолепные изображения созвездия Ориона, которые приводятся в каждой популярной астрономии. Перед нами как будто настоящий первозданный хаос необыкновенно запутанного строения, и на его фоне—целая гирлянда голубоватобелых ярких звезд, несомненно связанных с туманностью и охваченных ею со всех сторон. Мысль, что эти звезды «только что» (т. е. немного миллионов лет назад) образовались в недрах туманности из ее «первичной материи», представляется совершенно естественной. Она находит себе кажущееся подтверждение в том интересном факте, что почти все звезды, встречающиеся в туманностях, имеют одинаковые физические свойства, или, как говорят, принадлежат к одному и тому же спектральному типу. Это знаменитые звезды класса В, по классификации Гарвардской обсерватории, иначе называемого «типом Ориона», так как в этом созвездии их особенно много: из семи главных звезд характерной фигуры созвездия шесть (кроме красной Бетельгейзе) принадлежат к этому классу. Замечательную особенность звезд класса В, не встречающуюся ни у каких других звезд, составляет присутствие в их спектре линий *гелия*, элемента, обладающего исключительными свойствами. Одного этого обстоятельства было достаточно, чтобы привлечь к ним внимание исследователей. Оказалось, что все звезды орионовского типа—«гиганты» или даже «сверхгиганты», в сотни и тысячи раз ярче нашего Солнца. Из всех звезд это самые белые, самые горя-

чис и, следовательно,—такой вывод делали еще совсем недавно—самые молодые. Присутствие таких, может быть, еще даже не вполне сформировавшихся светил среди газообразной туманности является вполне естественным.

Но исследования последнего десятилетия, повидимому, совершенно разрушили эту простую и заманчивую схему. По теории развития звезд Рёсселя (которая изложена в главе 12) звезды класса В являются не новорожденными звездами-младенцами, а светилами, достигшими самого цветущего, самого зрелого возраста, после которого начинается уже медленный упадок—старость. Вопрос о связи этих звезд с туманностями остается, таким образом, открытым. Пока наиболее вероятным представляется следующее объяснение Хэббла, основанное на богатом наблюдательном материале. Никакой связи между звездами В и неправильными туманностями может и не быть, и туманности имеются и в тех частях пространства, где этих звезд нет. Но в этих случаях они не видны, так как сами по себе *туманности не светят*. Доподатьсь о существовании туманности можно будет только в том случае, если позади нее находится очень богатое звездное поле. «Дымовая завеса» туманности закроет от нас лежащие за ней звезды, и мы «увидим» темную туманность и сможем наметить ее очертания. Такие туманности знает современная астрономия: это всем известные «угольные мешки»,—темные малопрозрачные массы, которые вырисовываются на сверкающем фоне звезд Млечного Пути в виде черных, причудливо очерченных, беззвездных областей. Сильное поглощение света, которое производит такая туманность, говорит о том, что она должна иметь не газообразное, а метеорное, пыльное строение (фиг. IX).

Если же «близости» (т. е. на расстоянии немногих световых лет) от туманности случайно окажется звезда-гигант орлиновского типа, то или вся туманность, или, в крайнем мере, часть ее становится видимой. Чудовищная звезда сверхгигант Ригель (β Ориона), которая ярче нашего Солнца в двадцать или тридцать тысяч раз, вызывает свечение туманности на расстоянии двадцати световых лет, т. е. вдвое больше, чем расстояние от нас до Сириуса. Причина свечения туманности должна заключаться частью в освещении ее лучами ближайшего солнца, частью в том, что лучи, падая на туманность, вызывают в ее частицах процессы свечения (явление люминесценции, хорошо известное в наших лабораториях).

Повидимому, звезды класса В, голубовато-белые, посылают особенно много лучей, способных вызвать такое свечение, в сравнении со звездами прочих спектральных классов.

Итак, наше знакомство с миром туманностей, в частности галактических, к нам особенно близких, приводит к выводам, неутешительным для небулярной гипотезы. Мы не только не нашли первичной туманности, но вообще не обнаружили в туманностях признаков того развития, которое видел в них Гершель. Как формулирует В. Г. Фесенков, «непосредственный переход туманностей в звезды без всякого сомнения лишен в настоящее время наблюдательного базиса и может поддерживаться только на основании теоретических соображений».

10. СПИРАЛЬНЫЕ ГИПОТЕЗЫ ПРОИСХОЖДЕНИЯ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

В конце XIX столетия, когда стала выясняться недостаточность всех вообще небулярных гипотез, ряд исследователей независимо друг от друга пришел к следующим выводам.

Туманность в результате постепенного сгущения может дать звездные системы или одинокие звезды, но не больше. Система планет около звезды могла появиться только в том случае, если «нормальный» ход развития был нарушен действием какой-то внешней силы; планеты появились в результате *катастрофы*. При этом катастрофа, породившая планеты, произошла в сравнительно позднюю эпоху, когда начальная туманность уже сформировалась в Солнце. Планеты образовались, таким образом, не из туманности, из которой вместе с ними образовалось Солнце, а из самого Солнца; они его дети, а не младшие братья. Какого же рода была эта катастрофа и что было в переходную эпоху между катастрофой и окончательным формированием планетной системы? Тут как раз были открыты спиральные туманности.

Впечатление, произведенное этими таинственными образованиями на астрономический мир, было так велико, что сейчас же был сделан целый ряд попыток построить историю планетной системы, как результат развития спиральной туманности, и заменить «струями» и «ветвями» спирали кольца Лапласа. Некоторые из авторов этих гипотез не знали истинных размеров спиралей и спокойно принимали наблюдающиеся в их ветвях сгущения за зародыши планет. Другие

исходили из соображения, что грандиозный процесс образования звездных систем, который уже тогда предполагали в спиральных туманностях, может происходить по тем же законам и в меньшем масштабе (утверждение, как известно, далеко не всегда правильное), в частности, что он мог действовать при формировании нашего планетного мира. Многие из этих гипотез теперь не имеют значения, но одна сохранила полную жизненность, хотя «спираль», о которой в ней идет речь, не имеет ничего общего с действительно наблюдающимися спиральными туманностями.

ВЗГЛЯДЫ АРРЕНИУСА

Знаменитый шведский химик Аррениус (Svante Arrhenius, 1859—1927), один из самых разносторонних ученых начала XX века, особенно живо интересовался космогоническими вопросами. Хотя взгляды его нередко идут вразрез с данными наблюдения и многие теории кажутся слишком смелыми, но богатство идеями и широкий полет грандиозных построений невольно увлекает всякого, кто познакомится с его книгами, посвященными «Космической физике».

Аррениус видит в спиральных туманностях результат грандиозной мировой катастрофы — столкновения двух солнц, при этом солнц, вероятнее всего, давно уже потухших. Каковы бы ни были источники солнечной теплоты, они не могут поддерживать ее вечно, и каждая звезда, в конце концов, погаснет, покроется темной холодной корой. Но это далеко еще не конец ее жизни; правда, она исчезнет для взоров отдаленного наблюдателя, станет темным, невидимым телом, но это тело сохранит под своей застывшей оболочкой колоссальные запасы тепла. Так как кора небесного тела (например, земная кора) почти не проводит теплоты, то после образования достаточно толстой оболочки потеря тепла в мировое пространство почти прекратится, и потухшая звезда невообразимо долгое время будет сохранять почти одинаковый запас скрытой тепловой энергии. Этот период «скрытой жизни» звезды несравненно длиннее того периода, в течение которого звезда светила. Следовательно, если только мир существует достаточно долгое время, то он должен быть «наполнен» темными, потухшими солнцами. Как выразился какой-то писатель, число потухших звезд во столько же раз больше числа звезд светящихся, во сколько раз число умерших людей больше числа

живых (это, конечно, неверно). В течение многих миллиардов лет носится в пространстве угасшее солнце, пока оно не столкнется случайно с другим таким же небесным телом. При этом столкновении развивается громадное количество тепла, не только благодаря тому, что вся энергия движения (со скоростями в сотни километров в секунду) переходит в теплоту: еще большее количество тепла может получиться за счет скрытой внутри звезд тепловой энергии. Столкновение разрывает их темную оболочку, и внутренний жар извергается наружу со взрывом, размеры которого превосходят всякое воображение. Из слияния двух умерших звезд рождается новое светило.

Так как столкновение чаще всего должно быть косым, боковым, а не центральным, то вся масса соединившихся солнц приходит в чрезвычайно быстрое вращательное движение, при котором развивается значительная центробежная сила, и из экваториальной плоскости вращающегося тела начинают выбрасываться наружу громадные раскаленные массы. Нетрудно определить, из каких точек нового светила такое истечение должно происходить особенно обильно. Вследствие сильного косого удара столкнувшиеся полушария обоих тел в местах соприкосновения станут почти плоскими, и оба шара сольются в одно, почти шарообразное тело. И вот, вдоль границы, где слились эти тела и где сильнее всего разрушена их твердая оболочка, и будет происходить извержение раскаленных внутренних масс. Таким образом на экваторе нового тела будут две диаметрально противоположных точки, из которых выбрасывается раскаленное вещество в виде двух светящихся пучков или «струй». Так как вся масса быстро вращается, то сейчас же после выхода из ядра струи изогнутся в направлении, противоположном вращению светила, и образуют две далеко тянущиеся спиральные ветви. Так возникают спиральные туманности.

Подтверждение правильности этой теории Аррениус находит в появлении *новых звезд*, одном из самых поразительных и самых грандиозных мировых явлений. Как уже упоминалось в начале книги, это явление состоит в том, что в несколько часов яркость какого-нибудь отдаленного солнца совершенно неожиданно увеличивается во много тысяч раз и затем постепенно, в течение многих месяцев и даже лет падает приблизительно до прежней величины. Катастрофы эти далеко не редки. Каждый год, а иногда и по несколько раз в год, мы узнаем, что такая судьба постигла ту или другую

из отдаленнейших звезд Млечного Пути (разумеется, каждая из этих катастроф случилась много сот или тысяч лет назад, но только теперь дошел до нас луч света, принесший известие о ней). Нашему поколению пришлось быть свидетелем трех случаев появления таких ярких «новых» звезд, каких не было со времен Кеплера, именно в 1901, 1918 и 1920 гг. Самая блестящая из них, «Новая Орла» (Nova Aquilae), вспыхнувшая 7 июня 1918 г., в течение немногих дней была самой яркой звездой северного неба. Она блистала звездой ярче 1-й величины; между тем за 1—2 суток до этого она имела, как теперь точно выяснено, яркость всего $10\frac{1}{2}$ -й величины, т. е. в 20—25 тысяч раз слабее. Было бы довольно бесполезно пытаться представить себе вид нашего Солнца, если бы оно в один прекрасный день стало в 20 000 раз ярче и соответственно этому теплее. Но легко догадаться, во что превратилась бы наша Земля и все остальные планеты задолго до конца этого *последнего* дня нашей солнечной системы. А ведь наши сведения о причине вспышки «новых звезд» так скромны, что мы сейчас не можем поручиться в том, что наше Солнце не переживет когда-нибудь такого же «омоложения», какое на наших глазах постоянно случается то с тем, то с другим из его собратьев!

Явления, сопровождающие вспышку и угасание «новых» звезд, чрезвычайно сложны и не нашли еще себе удовлетворительного объяснения. Особенно интересно появление туманности, наблюдавшееся вокруг некоторых из них (например около «Новой» Персея 1901 г.). Но туманности эти—не спиральной формы, и иногда они могут являться не следствием, а причиной катастрофы: теория, объясняющая «новые» звезды столкновением солнц, в настоящее время считается мало вероятной, и на место ее выдвинута (наряду с другими гипотезами) теория столкновения звезды с туманностью, существовавшей, следовательно, задолго до вспышки «новой» звезды. Грубую и бесконечно-малую модель того, что происходит со звездой при таком столкновении, представляет всем нам известное явление падающей звезды, когда несущийся в межпланетном пространстве маленький метеорит раскаляется от удара о земную атмосферу. А то обстоятельство, что туманность появляется только *после* вспышки новой звезды и потом исчезает, объясняется просто и красиво: туманность сама по себе темная, она становится видимой только на то время, пока звезда разгорается достаточно ярко, чтобы ее осветить. Вокруг

«Новой». Персен (1901) туманность росла почти на глазах наблюдателей, но, по всей вероятности, это не было движение *частиц* туманности, а нечто более интересное, именно распространение света, освещающего туманность. С нашего громадного расстояния мы могли видеть, как постепенно растекался по темной хаотической массе *свет* от внезапно вспыхнувшей звезды, подобно тому как растекается водяное пятно по пропускной бумаге, и распространение световой волны на двадцать пять миллиардов километров в сутки мы улавливали в виде кажущегося ежедневного роста туманности на ничтожную величину: 1—2 секунды.

Таким образом объяснение Аррениуса надо признать несостоятельным в той его части, которая касается *причины* истечения спиральных струй из центрального ядра туманности. Но самый процесс истечения, т. е. движения туманных разреженных масс вдоль ветвей туманности, недавно подтвержден прямыми наблюдениями ван-Маанена (см. предыдущую главу), только он происходит в гораздо большем масштабе и вызван другими причинами.

Чрезвычайно своеобразно представление Аррениуса о том пути, посредством которого образуются сгущения, т. е. будущие планеты, в ядре и ветвях его туманности. Он считает, что большая часть вещества, идущего на образование планет, берется не из самой туманности, а получается извне, от других может быть, чрезвычайно отдаленных небесных тел. Тут он выдвигает совершенно новый фактор, введение которого (в 1900 г.) оказалось чрезвычайно плодотворным для космогонии, именно *световое давление*. Как было теоретически предсказано Максвеллом, великим основателем электромагнитной теории света, еще в 1873 г., свет должен производить некоторое давление на освещаемые им предметы. Давление это крайне незначительно, и нужен был совершенно исключительный экспериментальный талант блестящего русского физика П. Н. Лебедева (1866—1912), чтобы на опыте его обнаружить и измерить. Давление, производимое светом Солнца на поверхность планет, совершенно ничтожно в сравнении с солнечным притяжением и абсолютно не влияет на движения этих небесных тел. Вычисление показывает, что чем меньше тело, подверженное действию лучей, тем меньше и световое давление, но с уменьшением размеров тела сила давления, например, лучей Солнца убывает не так быстро, как сила солнечного притяжения. Поэтому величина солнечного

давления, по мере уменьшения размеров частицы, составляет все большую долю солнечного притяжения и для микроскопически малых пылинок (с диаметром около 0,001 миллиметра), наконец, берет перевес над притяжением. Такие пылинки не притягиваются, а отталкиваются Солнцем. Этим «световым отталкиванием» объясняют теперь образование хвостов комет. Аррениус предполагает, что в солнечной атмосфере, вследствие сгущения (конденсации) паров раскаленных металлов, постоянно образуются частички таких размеров, что на них отталкивание Солнца действует особенно сильно; они выбрасываются из солнечной атмосферы и, не встречая никакого сопротивления в пустом мировом пространстве, несутся до тех пор, пока не попадут на какое-нибудь небесное тело. В громадном большинстве случаев телом, приютившим этих изгнанников, оказывается туманность, так как размеры туманностей несравненно больше размеров звезд и попасть на них поэтому у частицы гораздо больше шансов. Внутри туманности наши частицы начинают конденсировать (т. е. поглощать) окружающие их газы и, таким образом, увеличивают свою массу; когда эти массы станут, наконец, ощутительными для их ближайших соседей, начинается соединение пылинок в тела больших размеров, т. е. хорошо знакомый нам кантовский процесс образования центров сгущения. Так как вся туманность, внутри которой все это происходило, продолжала вращаться, то, в конце концов, получается система твердых тел, планет, обращающихся вокруг центральной массы в одном и том же направлении. При больших размерах столкнувшихся начальных масс может получиться гигантская спиральная туманность, которая таким же путем, но в более грандиозном масштабе, даст начало уже не планетной, а звездной системе, звездному скоплению.

Мы видим, что Аррениус, подобно Канту, воображает себе вечный круговорот мировой жизни: столкновение угасших солнц производит туманность, которая, в свою очередь, дает начало новым солнцам и планетам. Но может ли этот круговорот действительно быть вечным? Один из основных законов современной физики, знаменитый «второй принцип термодинамики», отвечает на этот вопрос отрицательно. Он говорит нам, что хотя общее количество энергии вселенной не уменьшается (закон сохранения энергии, или первый принцип термодинамики), но энергия эта все время *обесценивается*: более высокие формы механической, химической и электрической энергии постепенно переходят в теплоту, т. е. в беспорядоч-

ное движение молекул. Когда, наконец, вся энергия вселенной превратится в теплоту, то это будет смертью мира; вся вселенная примет одинаковую температуру (высокую или низкую—безразлично) и никакое превращение энергии, никакая работа больше не будут возможны, так как использовать теплоту для работы можно только в том случае, если мы имеем более теплое тело («очаг») и более холодное («холодильник»). Выход из этого неутешительного заключения Аррениус пытается найти в свойствах громадных газообразных туманностей, которые он считает «холодильниками» вселенной. По всей вероятности, туманности имеют не высокую, как полагали прежде, а крайне низкую температуру. Аррениус думает, что такую температуру они будут сохранять вечно, несмотря на постоянное согревающее действие «очагов» вселенной—звезд. Газообразная масса, как хорошо известно, при сообщении ей тепла так сильно расширяется, что температура ее падает. При этом расширении из внешних слоев туманности улетают самые быстрые, т. е. самые горячие молекулы, а медленно движущиеся, холодные остаются в туманности. Туманность таким образом производит «отбор» молекул и остается холодной, хотя и получает теплоту. Более горячие, быстро движущиеся молекулы попадают из чистой туманности в какой-нибудь из тех «центров сгущения», которые образовались из некоторых частей туманности, и повышают, таким образом, их температуру. Уравнивания температуры не происходит.

Соображения Аррениуса замечательны по остроумию и глубине мысли. Но указанный им механизм все-таки недостаточен, чтобы парализовать действие «второго начала», выход из которого надо искать в силах, действующих внутри атома.

ГИПОТЕЗА ЧЕМБЕРЛИНА И МУЛЬТОНА

Столкновение двух солнц представляет слишком малую вероятность, так как расстояния между небесными телами колоссальны в сравнении с их размерами. Чтобы это стало яснее, вообразим, что вся вселенная уменьшилась, например, в триллион (10^{12}) раз. Тогда наш звездный мир представится в виде шариков от полуметра до долей миллиметра в диаметре, удаленных одна от другой на десятки километров. Другими словами, один шарик будет приходиться на тысячи и десятки тысяч кубических километров пустого пространства. Понятно, что столкновения в таком пустынном мире

почти невероятны даже в течение громадных периодов. Но сближения звезд могут случаться гораздо чаще, хотя, конечно, тоже чрезвычайно редко при наших земных масштабах времени. (Мы имеем в виду сближения на такое расстояние, что звезды могут оказать друг на друга какое-нибудь действие.) Этим сближением небесных тел и объясняют происхождение спиральных туманностей две новейших космогонических теории. Одна из них предложена американским геологом Чемберлином (Chamberlin) и математически разработана астрономом-теоретиком Мультоном (Moulton), другая принадлежит знаменитому английскому физiku Джинсу (Jeans, 1919). В этой главе мы рассмотрим вкратце только первую гипотезу, так называемую «планетезимальную».

Если два одинаковых солнца пройдут одно мимо другого так близко, что расстояние между их центрами будет лишь в 2—3 раза больше диаметра, то они могут быть разорваны на части действием их взаимного притяжения. Такие тесные сближения случаются крайне редко. Но если даже эта «критическая» близость и не достигнута, то приливное действие приблизившегося солнца и на значительно большем расстоянии может вызвать сильное, катастрофическое действие. Вспомним, что приливная сила достигает наибольшей величины в двух точках небесного тела, подвергающегося приливам, именно в точке, ближайшей к возбудителю приливов, и в диаметрально противоположной, т. е. в самой отдаленной точке. В первой точке приливная сила направлена прямо к возмущающему телу, во второй—прямо от него.

В обоих случаях, следовательно, сила будет центробежная по отношению к Солнцу, результат ее будет отталкивание от его центра. Но отталкивательные силы на Солнце и без того существуют. Об этом свидетельствуют непрерывные появления над поверхностью нашего Солнца грандиознейших извержений раскаленных газов, так называемых «протуберанцев», которые нередко взлетают на высоту, большую солнечного радиуса, т. е. на несколько сот тысяч километров. И вот, если к этим отталкивательным силам прибавится еще влияние приливов, то, под их соединенным действием, из двух диаметрально противоположных точек Солнца вырвутся протуберанцы чудовищных размеров, две мощные струи раскаленных газов. Истечения эти будут идти все время, пока возмущающее солнце проходит достаточно близко; интенсивность «огненных фонтанов» будет изменяться с изменением его рас-

стояния, будет непрерывно меняться также и их направление: бьющая прямо ко второму солнцу газовая струя все время будет поворачиваться по его движению, и за ней строго будет следовать и другая струя, ее антипод. Но это «огненное колесо» еще не есть спиральная туманность; она получается, по теории Мультона, не так просто.

Тело, вызвавшее приливную катастрофу, сравнительно скоро уйдет, и истечение газовых масс прекратится. Но изверженные массы, которые к этому времени сгустятся в облака пыли, не упадут обратно на Солнце. Притяжение второго солнца сообщило каждой из выброшенных частиц дополнительное ускорение, лежащее в той же плоскости, в которой двигалось возмущающее тело. Проще говоря, это тело несколько увлекло выброшенную частицу в том же направлении, в каком оно само двигалось. Вычисления Мультона показывают, что частицы станут описывать вокруг центрального тела эллиптические орбиты всевозможных размеров и формы, лежащие в плоскости орбиты второго солнца. Из этих же вычислений выяснился интересный результат: большинство частиц, выброшенных по всевозможным направлениям, все время располагаются в пространстве сравнительно близко одна к другой, на двух симметричных кривых линиях спиральной формы, похожих на ветви спиральной туманности. Надо помнить, что эти линии не представляют собой орбит частиц туманности, а являются тем, что в теории комет называют *изохроной*, т. е. линией, на которой находятся в данный момент частицы, выброшенные из ядра по разным направлениям и с разными скоростями, но *одновременно*. Истинное движение частиц происходит по орбитам, пересекающим спираль под различными углами; оно не совпадает с движением (вращением) самой спирали.

По теории Мультона, движение спирали состоит в *закручивании* ее ветвей, пока они не сольются в плоский диск. В этом отношении, как мы знаем, его теория опровергается наблюдениями, ветви действительных спиралей раскручиваются, а не закручиваются, так что образование спиральных туманностей должно было идти другим путем. Кроме того, все известные нам туманности этого класса имеют, как это уже много раз подчеркивалось, несравненно большие размеры, чем солнечная туманность Чемберлина-Мультона.

Вторая часть гипотезы, образование планет из спиральной туманности, собственно говоря, независима от первой части,

разбирающей вопрос о происхождении самой туманности, и опровержение одной из них не влияет на судьбу другой. Эта часть теории напоминает взгляды Канта и Аррениуса. Так как вещество вряд ли выбрасывалось из недр Солнца совершенно равномерно, то в ветвях спирали с самого начала должны были иметься сгущения, «узлы», в которых постепенно собирались и слипались частицы, пролетавшие поблизости. Эти мелкие твердые частицы, в свою очередь образовавшиеся из слипания микроскопических пылинок, Чемберлин называет планетезималими. Не было, собственно, надобности в придумывании для них нового термина, когда имелись старые названия, как, например, *метеор* или *метеорит*. В результате накопления планетезималей в центрах сгущения и образовались современные планеты, а «вторичные узлы», сопровождавшие главные при выделении их из Солнца, дали начало спутникам.

Пожалуй, самую интересную деталь исследований Мультона представляет его объяснение малых эксцентриситетов планетных орбит. Он показал, что в результате столкновений метеоров получаются в большинстве случаев менее вытянутые орбиты, чем до столкновения. В том случае, когда орбиты столкнувшихся метеоров имели раньше одинаковый эксцентриситет и одно и то же время обращения, это уменьшение эксцентриситета, после соединения обоих тел в одно, можно доказать строго математически; оно будет иметь место и в большинстве тех случаев, когда обе орбиты лишь немного отличаются одна от другой по форме и размерам. Таким образом, по мере роста планетного сгущения, орбита его становится все более близкой к кругу. Этим объясняется, например, то обстоятельство, что орбиты планет, меньших по размерам, как то: малые планеты (астеронды), Меркурий и Марс, имеют самые большие эксцентриситеты.

Наибольшее затруднение представляет для планетезимальной теории, как и для других гипотез, вопрос о прямом вращении планет вокруг осей. Объяснение, которое дает эта гипотеза, аналогично объяснению Брауна (см. главу 8) и сводится к тому, что оба полушария планетного сгущения: обращенное к Солнцу и обращенное от Солнца, сталкиваясь с бесчисленными планетезималими получают, в среднем, не одинаковые импульсы (толчки). Мултон доказывает, что на первое, ближайшее к Солнцу полушарие метеоры падают преимущественно спереди; на него попадают, главным образом, те ча-

стицы, которые движутся медленней планеты и поэтому ею настигаются. Наоборот, на далекое полушарие сыплются преимущественно более быстрые метеоры, которые догоняют планету и, следовательно, попадают на нее сзади. Таким образом первое полушарие встречает некоторое сопротивление своему движению, а второе, наоборот, получает некоторое ускорение. Результатом является вращательное движение всей массы в том же направлении, в каком она обращается вокруг Солнца. Объяснение это, повидимому, недостаточно убедительно. То же приходится сказать и об объяснении прямого направления обращения спутников. Впрочем, в нем содержится интересная мысль о «выживании наиболее приспособленных» спутников. Эта идея, аналогичная «естественному отбору» в теории биологической эволюции Чарльза Дарвина, играет известную роль в современной небесной механике. В применении к спутникам планет она сводится к тому, что вначале существовали спутники, двигавшиеся по всевозможным направлениям, но двигавшиеся в обратном направлении имели больше шансов упасть на планету, и, в конце концов, «выжили» преимущественно спутники с прямым движением.

11. ИССЛЕДОВАНИЯ ДЖИНСА

ГИПОТЕЗА О ПРОИСХОЖДЕНИИ СПИРАЛЬНЫХ ТУМАННОСТЕЙ

Математические работы знаменитого английского физика Джинса (James Jeans), нашего современника, представляют самое значительное из всего, что только до сих пор было сделано в космогонии. Они охватывают самые разнообразные вопросы мироздания, от вопроса об образовании нашей Луны до вопросов о судьбах материи и вселенной. Популярное изложение его взглядов часто появлялось в нашей литературе. Рассмотрим, прежде всего, объяснение, которое он дает спиральным туманностям.

Как отмечает сам Джинс, его гипотеза очень сходна с гипотезой Лапласа, вначале даже вполне совпадает с ней и отличается только масштабом. Подобно Лапласу, он начинает с газового шара, но диаметр этого шара неизмеримо больше диаметра лапласовой «солнечной атмосферы». Это как раз и есть одна из многочисленных «шаровых» внегалактических туманностей (не смешивать с галактическими планетарными),

для которых отведен особый класс в классификации американских астрономов. Без воздействия внешних сил туманность навсегда сохранила бы эту форму. Но рано или поздно действие какого-нибудь прошедшего поблизости тела сообщит нашей туманности вращение, и развившаяся центробежная сила заставит вращающуюся массу принять сплюснутую форму. Вследствие охлаждения на поверхности, туманность сжимается и скорость ее вращения увеличивается. Туманность проходит через сферондальную форму (подкласс «овальных» туманностей вышеупомянутой классификации) и принимает указанный еще Рошем, хорошо нам знакомый вид «чечевицы», или диска, с острым краем по экватору, нечто вроде двух блюдец, сложенных краями (см. главу 6). Мы получаем, таким образом, первую ступень следующего подкласса, «веретенообразных» туманностей. До сих пор все идет по Лапласу, только в несравненно более грандиозных размерах.

Дальше начинается различие. Чечевицеобразная форма, как показывает математическое исследование, неустойчива, и на остром экваториальном ребре вращающейся массы должно начаться выделение вещества. Но выделение могло бы начаться сразу вдоль всего экватора (как у Лапласа), т. е. в виде кольца, только в том случае, если бы туманность совершенно не была подвержена действию внешних сил и если бы она была идеально однородна. Впрочем, и тогда кольцо, вероятно бы, не образовалось, и отделившиеся частицы просто рассеялись бы в пространстве. Такой случай мало вероятен. Гораздо чаще должны были встречаться случаи, когда туманность в эту критическую эпоху ее жизни находилась хотя бы под слабым притягательным действием, например, другой подобной туманности. На разные точки экватора нашей туманности ее соседка действовала с различной силой. Эта разница притяжений — хорошо нам известная *приливная сила* — вытянула экватор туманности в эллипс и на двух его концах наметила точки, в которых раньше всего центробежная сила уравнивала силу притяжения. В этих двух диаметрально противоположных точках и началось истечение вещества в виде двух струй, или «волокон», направленных от центра туманности.

Этот момент развития туманности по Джинсу сходен (если не считаться с разницей в масштабе) с тем, что дает при описании происхождения планет гипотеза Мультона и Чемберлина, но это сходство продолжается действительно только

одни момент (понимая слово «момент» в несколько широком смысле). Отметим сейчас же главные различия между этими двумя теориями, так как они не сразу бросаются в глаза. 1) В планетезимальной гипотезе извержение газов из Солнца происходило только в течение сравнительно короткого времени, пока возмущающее светило находилось в непосредственной близости к Солнцу, и прекратилось с его удалением. По Джинсу же, раз начавшееся истечение продолжается неопределенно долгое время из тех же самых точек туманности, совершенно независимо от движения другого тела. Истечение поддерживается продолжающимся сжатием и ускорением вращения туманности, а впоследствии—приливным действием самих извергнутых масс, когда они выделяются в достаточном количестве. В теории Мультона-Чемберлина постепенное сжатие Солнца не играет никакой роли. 2) В планетезимальной гипотезе орбиты частиц выброшенного вещества определяются действием обоих солнц. В представлении Джинса возмущающее тело находится так далеко, что роль его ограничивается только «толчком», быть может, очень слабым, которым оно даст начало истечению, а на самое движение выброшенных частиц оно уже оказывает такое ничтожно малое действие, что его совершенно можно не принимать во внимание. 3) В гипотезе американских ученых спиральные ветви представляют изохрому, т. е. кривую, на которой в настоящее время находятся частицы, выброшенные приблизительно одновременно в давно минувшую критическую эпоху. Эта кривая не представляет собой орбит, или «траекторий» частиц, каждая частица движется под значительным углом к ней, и притом так, что спираль с течением времени *сжимается*. В теории Джинса извергнутые массы тоже располагаются в виде двух спиральных ветвей, но происхождение этих ветвей иное, гораздо более простое.

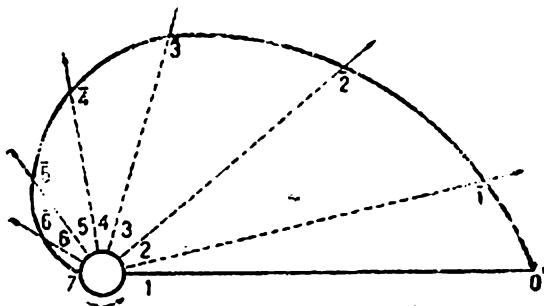
Как мы только что сказали, истечение вещества из ядра туманности по Джинсу идет в общем непрерывно и продолжается, повидимому, и в настоящее время. Если бы туманная масса не вращалась и если бы отделившееся вещество продолжало удаляться от ядра, то мы имели бы две прямолнейных струи, направленные в противоположные стороны. Но туманность имеет вращательное движение; для определенности предположим, что это вращение направлено, если смотреть с Земли, против движения часовой стрелки. Рассмотрим клубок газа, выброшенный «кверху». Если извержение было

направлено приблизительно по радиусу туманности, то можно считать, что наш клубок достиг своего нынешнего положения, двигаясь по «траектории», не очень сильно отличающейся от прямой линии¹. Эта почти прямолинейная траектория была направлена, конечно, не по тому направлению, по которому происходило извержение (не по радиусу), а отклонялась от него несколько вперед, по направлению вращения туманности, в котором выбрасываемые частицы также участвовали. За то время, которое протекло с момента извержения первого клубка, туманность продолжала свое вращение и описала, например, полоборота, так что «отверстие», из которого все время шло истечение, приходится теперь уже на противоположной стороне. Таким образом частицы, выброшенные за все протекавшее время, составят искривленную струю: сейчас же по выходе из центрального ядра она поворачивает *навстречу* вращению туманности (в нашем случае — по часовой стрелке) и идет кругом ядра постепенно раскручивающейся спиралью. Такая же спиральная ветвь получается с противоположной стороны (черт. 5).

Надо заметить, что и в теории Джинса так же, как у Мюльгона и Чемберлина, спиральные ветви не являются траекториями (т. е. путями) выброшенных частиц. Но между тем как по планетезимальной гипотезе туманность должна свертываться, по Джинсу, наоборот, она с течением времени расширяется: движения частиц направлены не в точности вдоль ветви спирали (от ядра), а отклонены от направления «струи» наружу, на некоторый острый угол. Мы видели в 8-й главе, что именно такое движение в ветвях спирали и было обнаружено наблюдениями ван-Маанена. В результате исследований ряда спиралей он характеризует движение «узелков» в их ветвях как «движение вдоль струй (streamers), слагающееся с движением, направленным от центра наружу». Таким образом теория Джинса хорошо согласуется с явлениями, совершающимися в действительных туманностях (фиг. X, XI).

¹ Действительное движение отдельных частиц будет, конечно, очень сложным, не прямолинейным и далеко не равномерным. Надо учесть притяжение ядра, которое убывает не только с расстоянием, но и *со временем*, так как масса ядра постепенно уменьшается за счет истечений. Это ослабление центрального притяжения и вызывает постепенное отделение выброшенных масс, раскручивание струй.

Наблюдения подтверждают теорию Джинса и в других отношениях. Особенно показательны те многочисленные случаи, когда туманность обращена к нам ребром. Тут мы находим всевозможные переходные ступени между «чечевицей», или «диском» (фиг. XII и XIII), и вполне развившейся спиралью. Мы видим, как заостренные края диска постепенно удлиняются; чем они длиннее, тем меньше становится среднее сгущение, очевидно вследствие перехода все больших масс вещества в спиральные ветви. Туманность прищипает



Черт. 5. Образование ветви спиральной туманности.

Из крутой вращающейся (по стрелке) туманности непрерывно выбрасывается вещество все время из одной точки. Частица, выброшенная первой, когда «отверстие» находилось справа в точке 1, двигалась не по линии 1...0, а отклонилась в сторону, вследствие вращения туманности, и прошла до настоящего времени путь 1...1̄. Точно так же частица, вылетевшая из точки 2, теперь находится в точке 2̄ и т. д. К настоящему моменту туманность повернулась на пол оборота, и «отверстие» находится в точке 7. Таким образом все частицы, выброшенные до настоящего времени, находятся на спиральной струе, выходящей из точки 7. Каждая частица продолжает двигаться, но не вдоль спирали, а по направлениям, указанным стрелками. Следовательно, спиральная петля с течением времени *раскручивается*, отдаляется от центральной части туманности.

хорошо выраженную «веретенообразную» форму (конечно, какующуюся,—на самом деле это очень плоский диск), причем особенно бросается в глаза темная полоса, тянущаяся вдоль оси «веретена» и пересекающая центральное сгущение (фиг. XIII). Легко понять ее значение: это одна из ветвей спирали, более темная, чем ядро, и почти непрозрачная; она как бы проходит через главную массу туманности, подобно

тому как проходит, например, кольцо Сатурна через диск своей планеты, если смотреть с Земли (фиг. III).

Какая же судьба постигнет в дальнейшем наши газовые струи? Оказывается, что ответ на этот вопрос зависит от масштаба, от массы туманности; в малом масштабе явление должно протекать совсем иначе, чем в большом. Джинс показал, что если масса туманности мала, например сравнима с массой Солнца, то выброшенное вещество сейчас же рассеется в пространстве, вследствие присущего газам стремления к безграничному расширению, которое мы называем их «упругостью». Слабое притяжение центрального ядра не будет в состоянии преодолеть силу упругости, и никаких «струй» сколько-нибудь долговечных не получится. Наоборот, при достаточно большой массе начальной туманности и, следовательно, при мощной силе притяжения стремлению газа расширяться будет положен предел, и выброшенное вещество будет двигаться описанными выше «струями». Теория Джинса выводит далее, что та же сила притяжения должна вызвать распад струй на отдельные сгущения, подобно тому как распадается на капли струя воды (конечно, в этих двух случаях действуют совершенно различные силы). Математическое исследование позволяет определить даже размеры и массы этих газовых «капель», а сравнение полученных теоретических размеров с видимыми угловыми диаметрами отдельных «узелков» в ветвях спиралей дает возможность составить представление о расстоянии туманностей от нас. Чрезвычайно замечательно, что массы отдельных сгущений, по вычислениям Джинса, оказались равными средней массе звезд.

Но каждое сгущение в ветви спирали—еще не звезда, оно превратится в звезду в отдаленном будущем, и вместо туманности получится *звездное скопление*, состоящее из многих миллионов солнц. Некоторое время «капли-звезды», на которые распались струи туманности, будут еще сохранять «строй» в своем движении, и для отдаленного наблюдателя система будет оставаться спиральной туманностью. Но постепенно равнение будет расстраиваться все больше и очертания правильной спиральной структуры будут делаться все более неясными. Это может быть вызвано как внутренними силами, взаимными притяжениями звезд и отдельных звездных групп, так, в особенности, внешними притяжениями со стороны других соседней-галактик. Конечной стадией туманности

является, таким образом, *неправильная* галактика, 4-й класс внегалактических туманностей по классификации Хаббла.

Как раз галактики этого типа нам особенно хорошо известны. На южном небе есть два удивительные объекта, легко видимые простым глазом и названные в память знаменитого мореплавателя *облаками Магеллана*. Они кажутся «оторванными частями Млечного Пути» и так ярки, что видны простым глазом даже при Луне. Диаметр большего облака около 7° , меньшего— 4° ; большее облако занимает на небе площадь свыше 40 квадратных градусов (более 200 дисков полной Луны), меньшее—около 10 кв. градусов. Оба облака представляют грандиозное смещение отдельных звезд, звездных скоплений и газовых туманностей (фиг. XIV). По оценке Шэпли, в одном Малом Облаке находится свыше 500 000 звезд, доступных его инструментам. К счастью, в обоих облаках нашлось достаточное количество драгоценных переменных звезд цефеид, которые Эддингтон называет «нормальной свечей» вселенной и которые позже сослужили такую важную службу при изучении спиральных туманностей. По наблюдениям этих звезд Шэпли нашел, что оба облака находятся от нас почти на одинаковом расстоянии, около 110 000 световых лет, т. е. в восемь раз ближе самой близкой спиральной туманности (Андромеды). По размерам они ей уступают: Большое Облако имеет диаметр в 13 000 световых лет, Малое—вдвое меньше. Из массы интересных открытий, сделанных в облаках, упомянем только об одном: самая яркая из звезд, достоверно принадлежащих к облакам, имеет яркость 8-й величины. Это значит, что в действительности она ярче нашего Солнца в *пятьсот тысяч* раз!

Не подлежит сомнению, что Магеллановы Облака—такие же галактики, такие же звездные системы, как наш Млечный Путь, только меньших размеров. Они не обнаруживают никаких признаков спирального строения. Вероятно, они потеряли правильную форму вследствие «возмущающего» действия нашей звездной системы, к которой они так «близки» еще и теперь, а прежде были еще ближе: как показали спектральные наблюдения, оба облака удаляются от нас со скоростью около 200 км каждую секунду. Из таких же облаков состоит, по мнению Шэпли, «сверхсистема» нашего Млечного Пути.

В своих первых исследованиях, произведенных тогда, когда истинные размеры спиральных туманностей еще были со-

вершено не известны, Джинс счита: возможным превращение спиральной туманности в звездное «шаровое скопление» (фиг. XV). Скопления этого класса, привлекающие к себе теперь большое внимание, действительно часто оказываются не шаровыми, а сплюснутыми, что указывает на вращение всего роя. Если такое скопление окажется подтвержденным действием внешних притягивающих масс, например, других скоплений, то получится более рассеянное, так называемое «открытое» (по-английски «open») скопление вроде группы Плеяд (фиг. XVI). Оно даже может смешаться с окружающими звездами, и в этом случае только равенство собственных движений членов скопления укажет нам на его существование. Такие случаи «звездных роев», или «звездных потоков», в настоящее время хорошо известны, и их открыто уже до десятка, если не больше.

Но в действительности между шаровыми скоплениями и спиральными туманностями нет ничего общего. Шаровые скопления гораздо меньше спиралей, их диаметры лишь в редких случаях превышают 100 световых лет, и находятся они к нам значительно ближе, их расстояния измеряются не миллионами, а обычно десятками тысяч световых лет. Так, например, скопление в созвездии Геркулеса, одно из самых близких, удалено от нас на расстояние около 30 000 световых лет. Природа этих скоплений загадочна. Прежде всего, они очень редки, их найдено не больше 100, несмотря на тщательные поиски. Они явно имеют какое-то отношение к сверхсистеме нашего Млечного Пути, но внутри него, близ самой плоскости Млечного Пути, они никогда не встречаются, а располагаются довольно симметрично к северу и к югу от его главной плоскости. Каждое такое скопление состоит из десятков и сотен тысяч звезд, сосредоточенных внутри сравнительно небольшого пространства. Эти «миниатюрные», компактные звездные системы являются какими-то «спутниками» больших галактик. Так, ближайшая к нам другая галактика, система Магеллановых Облаков, включает в свой состав тоже несколько шаровых скоплений. Возможно, что скопления этого типа являются результатом сгущения сравнительно небольших туманностей, в которых процесс распада на звезды прошел без образования спиральных ветвей. Родство шаровых скоплений с более обыкновенными рассеянными скоплениями теперь считается менее вероятным, чем несколько лет назад.

Сгройная последовательность форм внегалактических туманностей—это единственное, что осталось в современной астрономии от эволюционной схемы Гершеля. Она же является и наилучшим подтверждением теории Джинса. Но и эта теория имеет слабые места. Ее первичная туманность есть в сущности лапласовская туманность, охлаждающаяся газовая масса, но крайне сомнительно, чтобы шаровые и овальные туманности, дающие «звездный», сплошной спектр, как и спирали, представляли собой именно такие массы газа. Вероятнее всего они состоят из звезд.

Будем надеяться, что ведущиеся в настоящее время на Моунт-Вильсоновской обсерватории систематические исследования этих туманностей прольют свет на их природу.

НОРМАЛЬНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ЗВЕЗД. ДВОЙНЫЕ ЗВЕЗДЫ

Рассмотрим один из «узлов», или второстепенных сгущений, на которые разделилась ветвь гигантской первичной спирали. Можно было бы думать, что каждое из этих меньших сгущений повторит в малых размерах ту же эволюцию, которую прошла вся туманность: под действием приливной силы какого-нибудь из своих соседей каждый узелок-звезда выбросит две спиральных струи, которые дадут начало еще меньшим сгущениям—планетам. Но как было уже отмечено, Джинс показал, что при малых размерах туманности не только отдельные сгущения, но даже и «струн» образоваться не могут, так как притяжение для этого будет недостаточно. Отделившиеся частицы образуют лишь крайне разреженную атмосферу, которая, в конце концов, рассеется в пространстве. Поэтому «маленькая» спираль (например, по массе равная Солнцу) механически невозможна, и развитие звезд должно идти другими путями. При *нормальных* условиях, т. е. в тех случаях, если звезда развивалась без сколько-нибудь сильных внешних воздействий, Джинс усматривает только два таких пути.

Предположим, что газовый клубок, из которого впоследствии должна образоваться звезда, обладает с самого начала своего самостоятельного существования достаточно быстрым вращением. Вследствие охлаждения он сжимается, и скорость его вращения увеличивается. Вопрос о форме массы, находящейся в таких условиях, представляет труднейшую математическую задачу, над решением которой работал ряд крупнейших

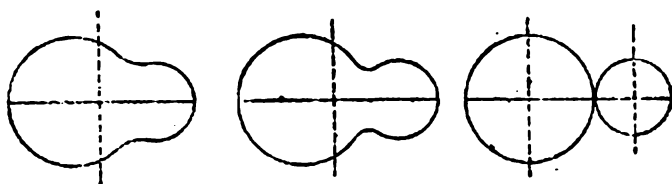
ших математиков, начиная с Маклорена (1698—1746) и Якоби (1804—1851). Трудности вопроса так велики, что обычно исследовался лишь самый простой случай—однородного вращающегося шара, состоящего из несжимаемой жидкости, но и при этом упрощении задача оказывается в высшей степени запутанной. Важные результаты были получены Пуанкаре, Дж. Дарвином и русским математиком А. М. Ляпуновым (ум. в 1920 г.); наконец, в самое последнее время Джинсу удалось распространить полученные ими решения и на случай вращения неоднородной сжимаемой массы, гораздо более близкий к тому, что имеет место в природе. Изложим эти результаты в самом сжатом виде.

Под действием центробежной силы шар сплющивается и принимает форму сфероида, или эллипсоида вращения (эллипсоид Маклорена). Пока сжатие эллипсоида не очень велико, эта форма будет *устойчива*, т. е. внешнее воздействие, например, какой-нибудь случайный толчок или недолгое действие притяжения прошедшего мимо небесного тела, может сообщить нашей жидкой массе только «затухающие» колебания, и тело быстро восстановит свою форму. Но по мере ускорения вращения сжатие усиливается, и фигура становится неустойчивой. Оказывается, что при дальнейшем увеличении скорости жидкая масса опять получает вполне устойчивую форму, только это теперь не будет эллипсоид вращения, а так называемый трехосный эллипсоид, т. е. тело, у которого не только все «меридианы»—эллипсы, но и «экватор» имеет эллиптическую форму. Все три взаимно перпендикулярные диаметра такого эллипсоида имеют различную длину. Вращение эллипсоида совершается вокруг его наименьшего диаметра. В дальнейшем эллипсоид вытягивается все больше, и когда его наибольший диаметр будет (для однородной массы) приблизительно втрое больше наименьшего, он опять станет неустойчивым. Малейшей причины будет достаточно, чтобы эллипсоидальная фигура (которую Дарвин довольно неудачно сравнивает с сигарой) претерпела новое и на этот раз уже последнее превращение: она разрывается на две, вообще говоря, неравные части, причем этот разрыв совершается весьма замечательным образом. Один конец «сигары» утолщается, а другой, наоборот, становится тоньше, так что тело принимает форму *груши*, положенной на бок (знаменитый «апноид» Пуанкаре); затем на границе между толстой и тонкой частями появляется перехват, или сужение, которое становится все тоньше и нахо-

лец разрывается. Вместо одного тела получается два очень близких друг к другу; из начального газового шара образовалась *двойная звезда* (черт. 6).

Джисс указывает приблизительно, при какой степени уплотнения звезды может произойти ее разрыв. Оказывается, что момент наступления катастрофы зависит от массы звезды. Большие массы разрываются гораздо раньше, чем малые. Вообще звезда разрывается задолго до того, как она достигнет плотности нашего Солнца, которое лишь в $1\frac{1}{2}$ раза плотнее воды.

Дальнейшая история двойной звезды является почти буквальным повторением дарвиновой истории Луны, изложенной в 7-й главе. Приливная эволюция поведет к постепенному отдалению спутника от главной звезды и к удлинению вре-



Черт. 6. Образование двойной звезды.

мени обращения; звездная пара с течением времени будет становиться все менее «тесной», и период обращения увеличится. Теория приливного трения показывает, кроме того, что и эксцентриситет орбиты будет меняться: вначале орбита будет очень близка к кругу, а затем станет вытягиваться все сильнее и сильнее, но не беспрельдно; достигнув некоторого максимума, она опять начнет приближаться к кругу.

Эта теория происхождения двойных звезд, развитая Дарвином и Си еще в девяностых годах прошлого века, во многих отношениях хорошо согласуется с наблюдениями. Двойные звезды крайне многочисленны, и орбиты их очень разнообразны. Оказалось действительно, что более тесные пары описывают орбиты, меньше отличающиеся от круга, чем более далекие, как и должно быть по этой теории. Подтверждается, повидному, и связь между возрастом звездной пары и ее орбитой: более молодые пары имеют в среднем менее вытянутые орбиты и меньший период обращения, чем более «старые» звезды.

Но есть и возражения против «приливной теории» двойных звезд. Так, например, представляется крайне сомнительным, чтобы только одно действие приливов могло сильно отдалить спутника от главной звезды, чтобы оно было в состоянии удлинить период обращения, составляющий вначале немного часов, до нескольких столетий или даже тысячелетий. Поэтому в развитии двойных звезд должна была участвовать еще какая-то внешняя причина. Такую причину Джинс видит в действии других звезд, которые случайно могли приблизиться к нашей паре в давно минувшую эпоху ее развития и своим притяжением изменить ее орбиту. Но, как известно, звезды находятся и движутся на таких громадных расстояниях одна от другой, что подобные сближения должны случаться в высшей степени редко. Поэтому, чтобы объяснить существование чрезвычайно большого числа двойных звезд, надо сделать предположение, что в прежние время условия были иными, что наш звездный мир был когда-то скучен на гораздо более тесном пространстве. Естественно принять, что это было в ту эпоху, когда звезды нашего Млечного Пути только что сформировались в ветвях гигантской спиральной туманности и двигались несравненно более сплоченными роями, чем в настоящее время.

Таков первый путь развития, которым могли идти отдельные сгущения первозданной туманности. Он ведет, таким образом, к формированию двойной звезды, тесной пары двух солнц, мало разнящихся по своим массам. Системы этого рода встречаются необыкновенно часто. Число «визуальных» двойных звезд, т. е. открываемых и наблюдаемых с помощью телескопа, приближается уже к 20 000, если даже не превысило этой цифры, причем исследованы систематически только сравнительно яркие звезды, до 9—10-й величины. Оказалось, что тесные, «трудные» пары, которые можно «разделить» только в сильные инструменты, встречаются сравнительно чаще, чем более легкие, а особенно частое явление представляют такие тесные системы, что их нельзя раздвоить ни в какой телескоп—это так называемые *спектрально-двойные* звезды, один из самых излюбленных объектов исследования современной астрофизики. Звезды этого класса при самых сильных увеличениях кажутся одиночными точками, и только чудесный инструмент, называемый спектрографом, открывает нам их истинную природу. Мы узнаем, что в действительности это системы, состоящие из двух очень близких солнц, нередко почти соприкасающихся друг с другом. Оба светила обраща-

ются вокруг их общего центра тяжести обыкновенно в несколько дней, а в некоторых случаях—даже в несколько часов. Перед нами отдаленные солнечные системы, построенные по совершенно другому плану, чем система нашего Солнца.

И вот с каждым годом выясняется все с большей очевидностью, что эти двойные солнца составляют едва ли не правило во вселенной, что они встречаются, пожалуй, чаще, чем одиночные. Американский спектроскопист Кэмпбелл, самый крупный современный авторитет в этой области, считает, что в среднем из каждых трех исследованных им звезд одна оказывалась спектрально-двойной. Но ведь признать звезду за спектрально-двойную можно только в тех случаях, когда плоскость орбиты близка к направлению луча зрения, т. е. когда мы смотрим в «ребро» орбиты. Только при таком расположении орбиты каждое из солнц, составляющих пару, будет в некоторой точке своего пути удаляться от нас (а в противоположной точке—приближаться) со скоростью, достаточной для того, чтобы вызвать заметное смещение линий в ее спектре. Поэтому есть все основания думать, что спектрально-двойные звезды составляют в действительности не треть, а более половины общего числа звезд. Вот почему мы в праве считать процесс образования двойных звезд нормальным путем звездной эволюции.

Но существует еще и другой, вполне мыслимый ход развития звезды. Представим себе, что клубок туманной материи с самого начала своего самостоятельного существования был наделен слишком малым запасом вращательного движения, настолько малым, что даже при последующем ускорении (вследствие охлаждения и сжатия) скорость его оставалась недостаточной для разрыва. В этом случае наше тело в течение всей своей жизни не испытает резких изменений. Возможно, конечно, что в экваториальной плоскости светила будет происходить некоторое истечение вещества, но, как уже указывалось раньше, это не поведет к образованию колец или струй, из которых потом могли бы развиться новые небесные тела. В других случаях и этого не будет, и клубок просто сжимается, оставаясь лишь немного сплюснутым. С точки зрения теории Лапласа-Роша это будет означать, что диаметр туманности все время остается меньше диаметра «предельной поверхности», т. е. той поверхности, на которой сила притяжения уравновешивается центробежной силой. В конце концов, туманность превратится в медленно вращающуюся звезду,

без планет и спутников. Такие звезды, по всей вероятности, существуют. Наше Солнце, вследствие своего «одиночества» и медленного вращения, является отличным примером такой звезды, но только не для нас, а, например, для воображаемых астрономов, наблюдающих его с двойной звезды α Центавра, нашей ближайшей соседки. Если их инструменты такой же силы, как наши, то они и не подозревают, что вокруг этой звезды 1-й величины, какой представляется им Солнце, обращается еще кучка ничтожно малых темных песчинок-планет. И вот только присутствие этих тел, таких незначительных в сравнении с центральным телом—Солнцем, необыкновенно усложняет задачу.

ПРИЛИВНАЯ ГИПОТЕЗА ПРОИСХОЖДЕНИЯ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ ДЖИНСА И ДЖЕФРИСА

Вывод из изложенного ясен: звезда, развиваясь нормальным путем, т. е. без воздействия посторонних сил, не может образовать вокруг себя семью планет, подобную нашей планетной системе; следовательно, причину возникновения солнечной системы надо искать в действии какой-то внешней силы. Нормальный ход развития того сгущения, из которого впоследствии образовалась наша система, был нарушен катастрофой: мимо него прошло другое солнце и, вызвав громадное возмущение в его массе, удалилось опять в межзвездное пространство. Та же мысль, как мы знаем, лежит в основе гипотезы Мультона-Чемберлина, но между обеими теориями есть существенная разница. Авторы планетезимальной гипотезы предполагают, что возмущающее тело прошло хотя и сравнительно близко к Солнцу, но все же на расстоянии, большем «критического» (см. главу 9), так что результатом сближения был просто очень сильный «прилив» на его *обоих* полушариях. Приливы эти, правда, усилили обычную деятельность Солнца, образовав гигантские протуберанцы в двух противоположных областях его поверхности, но самое изменение формы Солнца, вызванное приливами, с уходом возмущающего светила прекратилось. Джинс, наоборот, думает, что это тело прошло чрезвычайно близко к поверхности нашего Солнца, ближе, чем на критическом расстоянии. Последствия такого «полустолкновения» были, конечно, совершенно другие. Прежде чем их излагать, сделаем замечание по вопросу о возможности такого сближения двух звезд.

При той исключительной «пустоте» звездного мира, которую мы наблюдаем в нашу эпоху и в нашей области пространства, столкновение или даже «полустолкновение» звезд должно считаться событием почти совершенно невероятным. Миллиарды лет должны пройти, прежде чем случится одно такое сближение. Если бы эти соображения были правильны, то пришлось бы признать, что существование нашей планетной системы, а стало быть, и рода человеческого, есть результат невероятно редкой случайности. Но не так было в другую эпоху и в другой части мироздания. Когда наше Солнце двигалось вместе с тысячами ему подобных «сгущений» в ветви спиральной туманности, оно могло иметь гораздо более близких соседей, чем теперь. Кроме того (это можно утверждать почти с уверенностью), оно было несравненно разреженней и, следовательно, занимало гораздо большую часть межзвездного пространства; уже по этому одному тесные сближения его с другими светилами были в то время гораздо вероятнее. Тем не менее вероятность такого сближения хотя и увеличивается при этих допущениях во много раз, но все же остается очень малой. Поэтому приходится повторить, хотя и не в такой резкой форме, только что высказанное замечание: наша планетная система в звездном мире является не типичной, не правилом, а скорее исключением, и обязана своим существованием, повидимому, очень редкой, счастливой (для нас) случайности.

Выясним теперь, что произойдет в том случае, когда возмущающее тело приблизится к Солнцу на «критическое» расстояние. Предположим для простоты, что это возмущающее светило, которое мы ради краткости будем называть «звездой», есть точка такой же массы, как возмущаемое Солнце. При своем приближении к Солнцу она поднимает, как мы знаем, два приливных горба в двух противоположных точках его поверхности. Но высоты этих горбов не совсем одинаковы; их можно считать равными только в том случае, когда расстояния звезд велико в сравнении с радиусом Солнца. Горб на полушарии, обращенном к звезде, всегда больше, чем противоположный. По мере приближения звезды к Солнцу разность в высоте горбов будет делаться все больше и больше. Если рассматривать верхушку горба, обращенного к звезде, то ясно, что сила, с которой притягивает ее звезда, все время будет расти, и, наконец, наступит момент, когда эта сила сравняется с силой притяжения самого Солнца (которую можно считать

сосредоточенной в его центре). То расстояние, на котором звезда будет находиться в этот момент от центра Солнца, и называется критическим расстоянием. При дальнейшем приближении звезды частицы в вершине приливного выступа оторвутся от Солнца и устремятся к возмущающему телу. На противоположном же полушарии ничего подобного не произойдет, так как там величина приливной силы гораздо меньше¹.

Понятно, что такой разрыв поверхности светила может произойти только в том случае, когда возмущающее тело подойдет к Солнцу чрезвычайно близко. Например, если размеры и масса возмущающей звезды такие же, как у Солнца, вершина приливного горба должна находиться на одинаковом расстоянии и от центра Солнца и от центра звезды, чтобы их действия на нее сравнялись. Поэтому поверхности обоих тел почти соприкоснутся. Действительно, точное вычисление показывает, что для этого случая критическое расстояние составляет всего $2\frac{1}{4}$ радиуса Солнца. Если масса звезды больше массы Солнца, то это расстояние, конечно, увеличится. Его мы будем называть радиусом критической сферы.

Явление будет протекать следующим образом. Как только звезда вступит в «критическую сферу», в ближайшей точке поверхности Солнца начинается бурное истечение вещества, в виде струи, которая искривляется, быть может, очень сложным образом под действием притяжения обоих солнц, но будет все время лежать в плоскости, содержащей орбиту возмущающей звезды относительно Солнца (если его считать неподвижным). Чем ближе звезда подходит к Солнцу, тем сильнее протекает извержение, тем большие массы вещества выбрасываются одновременно. Достигнув максимума сейчас же после наибольшего сближения обоих солнц, истечение начинает ослабевать и прекращается, когда звезда выйдет из пределов критической сферы. В немногие лет все может закончиться, Солнце опять восстановит свою форму «фигуры равновесия», и напоминать о случившейся катастрофе будет только новая газовая туманность, в виде сравнительно тонкого завитка, кружащаяся

¹ Для полной ясности след.дет обратиться к выносу стр. 55 и подсчитать сравнительно величину приливных сил F_1 и F_2 (на ближайшем и противоположном полушариях), притяг. расстояния притягивающего тела (r) равным, например, 3 радиусам возмущаемого светила.

около Солнца. Этот завиток, или «струя», в гипотезе Джинса заменяет лапласовы кольца. Масса его и сила взаимного тяготения составляющих его частиц достаточно велики для того, чтобы сравнительно скоро струя разорвалась на отдельные сгущения уже известным нам путем. Естественно ожидать, что из средней части струи, наиболее мощной, образовались самые крупные массы, а из конечных частей—более мелкие. Этим можно объяснить тот факт, что самые большие планеты нашей системы, Юпитер и Сатурн, занимают середину планетного ряда, а открытая в 1930 г. планета за Нептуном, Плутон, оказалась почти такой же маленькой, как Меркурий.

Образование спутников, по Джинсу, является повторением в миниатюре образования самой планеты. Роль тела, вызвавшего на планетах приливную катастрофу, играло, по всей вероятности, Солнце: орбиты частиц «струи» и, следовательно, орбиты возникших из нее планет были вначале чрезвычайно вытянутыми эллипсами; а так как масса Солнца громадна в сравнении с массой любой планеты, то радиус критической сферы в данном случае очень велик. Поэтому не нужно было даже особенно сильного приближения планеты к Солнцу в ее перигелии, чтобы вызвать приливные извержения. Из получившейся «струи» впоследствии возник ряд спутников. Вообще весьма вероятно, что процесс образования спутников, в особенности спутников двух планет-гигантов—Юпитера и Сатурна, был действительно одинаков с процессом образования планет. Давно уже отмечено, что эти две системы спутников, в особенности система Сатурна, являются уменьшенными копиями планетной системы (если не считать немногочисленных «обратных» спутников, быть может, случайно «захваченных» планетами). Не только орбиты спутников лежат там в одной плоскости, подобно планетным орбитам, и обращения совершаются в одном и том же направлении, но и массы их по отношению к главной планете так же малы, как и массы планет в сравнении с массой Солнца. Самое же интересное то, что и распределение масс в этих малых системах такое же, как и в большой солнечной системе: самые большие тела находятся в середине ряда. Например, давно уже указывалось, что самый крупный спутник Сатурна (Титан) по своему положению и массе играет в этой уменьшенной копии планетной системы почти в точности роль Юпитера.

Но процесс этот не мог повторяться до бесконечности как в меньшем и меньшем масштабе. Джинс доказывает, что

уже «спутники спутников» не должны были возникнуть: спутники для этого были слишком малы. Одни из них вследствие этого сравнительно очень быстро превратились в жидкое или даже твердое состояние, другие, быть может, даже никогда и не были газообразными, а уже родились жидкими или твердыми.

Важную роль в этой гипотезе, как и в гипотезе Мультона-Чемберлина, играет сопротивляющаяся среда, в которой двигались планеты. В планетезимальной гипотезе эта среда состоит, как мы видели, из твердых пылинок, или метеоров, здесь же это—газообразная атмосфера, которая должна была остаться после сгущения выброшенных масс в планеты. Можно доказать, что сопротивление этой атмосферы движению планет с течением времени изменило форму планетных орбит, сделало их из сильно вытянутых эллипсов почти круглыми. Сама атмосфера постепенно разрежалась; в более далеких областях она улетучивалась в мировое пространство, более близкие частицы, наоборот, постепенно поглощались Солнцем. Последний остаток этой первичной атмосферы сохранился, может быть, в виде *зодиакального света*—слабого сияния, которое в ясные темные вечера поднимается над местом захода Солнца широким наклонным столбом. В действительности это плоский диск какой-то крайне разреженной материи, края которого заходят за пределы земной орбиты и в центре которого находится Солнце.

Наибольшие затруднения для этой гипотезы представляет происхождение вращения планет и Солнца вокруг осей. Для его объяснения приливная теория может, по словам Джефриса, «представить только несколько качественных предположений сомнительного достоинства», в виде, например, косо-го падения на поверхности планет некоторой части выброшенной материи. Возможно также, что планеты получили некоторое количество вращательного движения уже при самом своем извержении из Солнца, которое, конечно, происходило очень бурно. Но все-таки трудности, возникающие на этом пути, так велики, что Джефрис склонен возвратиться к старой гипотезе «материального столкновения» Бюффона. Если предположить, что сближение двух солнц дошло до косо-го удара, то этим легко объясняется не только качество, но и количественно, происхождение вращательного движения всех тел нашей системы. Во всем остальном гипотеза остается без изменений.

Интересно отметить, что теория Джинса дает формулы, позволяющие вычислить массы тел, образовавшихся из газовой струи. Для тел, сформировавшихся из ветвей спиральной туманности, он получил, как мы видели выше, массы, равные средним массам звезд. Если применить эти формулы к туманности, изверженной Солнцем, сделав наиболее правдоподобные допущения о ее плотности и температуре, то для масс планет, образовавшихся из средней части струи, получается число, среднее между массой самых больших планет—Юпитера и Сатурна. Этот замечательный результат вряд ли является простым совпадением и может считаться свидетельством того, что путь, избранный Джинсом, принципиально верен. Но это не значит, конечно, что этот путь есть единственный и что впоследствии не будет указан какой-нибудь другой механизм, объясняющий явления еще точнее и совершеннее. Сам автор этой теории далеко не считает ее окончательным объяснением происхождения планетной системы и справедливо отмечает, что «время выводов в космогонии еще не наступило».

12. ЭВОЛЮЦИЯ ЗВЕЗД

Мы не раз уже упоминали о взгляде Гершеля, по которому в звездной вселенной имеются одновременно представители всевозможных возрастов небесных тел. Правда, по отношению к туманностям, которые собственно и имел в виду Гершель, данная им стройная схема развития не удержалась в современной науке. Такую же простую, почти очевидную последовательность эволюции усмотрели в мире звезд: казалось, что *цвет* звезды вполне определенно зависит от ее возраста, и поэтому, расположив звезды по наиболее естественному порядку цветов, мы получим разные степени развития звезд. Мы увидим сейчас, что и здесь истинное положение вещей гораздо сложнее, чем можно было думать. В результате замечательных открытий последнего времени воззрения на развитие звезд претерпели в наши дни радикальное изменение в сравнении с теми взглядами, которые были почти общеприняты в течение всего прошлого столетия.

Как и следовало ожидать, звезды разного цвета имеют и различные спектры. Поэтому различные физические свойства звезд, например, их температуры, лучше всего характеризуется видом их спектров. При всем разнообразии звездных спектров основные черты их одинаковы: спектры всех звезд

являются так называемыми *спектрами поглощения*, подобными спектру нашего Солнца. Другими словами, спектр каждой звезды, рассматриваемый в достаточно сильный спектроскоп, представляет разноцветную радужную полосу, изрезанную поперечными темными линиями (встречаются, правда, изредка и светлые линии, но только у «аномальных» звезд, например у «новых»). Это говорит нам, что в главном строение всех звезд такое же, как строение Солнца: все они имеют ярко светящуюся поверхность («диск»), так называемую *фотосферу*, состоящую или из капелек расплавленных металлов, или — что вероятнее — из масс раскаленных и сравнительно плотных газов, и окутывающую ее, гораздо более разреженную, *атмосферу*, которая светится несравненно слабее фотосферы. Фотосфера дает сплошную разноцветную полосу в спектре звезды, а атмосфера, поглощая ее свет, производит темные линии в разных частях спектра.

На исследовании этих линий поглощения и основан весь спектральный анализ. По их виду и расположению астрофизик определяет и химический состав атмосферы отдаленнейшей звезды, и ее температуру, и происходящие на ней движения. Полученные при этом результаты покажутся особенно поразительными, если вспомнить, что даже в сильнейшие инструменты звезды представляются точками, без всякого реального диска, и мы не узнали бы решительно ничего об их строении, не будь спектрального анализа.

ГАРВАРДСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ЗВЕЗД

Было предложено несколько систем разделения звезд на разряды по их спектрам. Из них в настоящее время употребляется почти исключительно так называемая *гарвардская классификация*, разработанная знаменитым Э. Пикерингом (1846—1919) и его помощниками. Классы в этой системе обозначаются буквами. Приводим характеристику главнейших и наиболее распространенных классов, оставляя в стороне четыре или пять классов, к которым принадлежит сравнительно немного звезд, подвижному, отклоняющемуся от нормального пути развития.

Класс В. *Голубовато-белые* звезды, в спектрах которых видны линии гелия и водорода и совсем нет линий металлов. К этому замечательному классу принадлежат, главным образом, яркие звезды, расположенные преимущественно в Млеч-

ном Пути. Их особенно много в созвездии Ориона. Три звезды, составляющие «пояс» этого великолепного созвездия, являются типичными представителями этого класса.

Класс А. *Белые* звезды; в спектре широкие линии *водорода*; заметны и линии металлов. Типичные звезды: Сириус, Вега.

Класс F. *Желтовато-белые* звезды. Очень интенсивны линии *кальция*, линии других металлов сильнее выражены, чем в предыдущем классе (Процион, Полярная звезда).

Класс G. *Желтоватые* звезды, спектр которых испещрен многочисленными линиями металлов (наше Солнце, Капелла).

Класс K. *Красноватые* звезды с ослабленной фиолетовой частью спектра. Линии металла усилены (Ауктур, Альдебаран).

Класс M. *Красные* звезды, с широкими *полосами* поглощения в голубой и зеленой части спектра (Бетельгейзе, Антарес).

Все эти классы постепенно переходят один в другой и образуют непрерывный ряд. Поэтому введены десятичные подразделения каждого класса, обозначенные цифрами. Например В1 обозначает звезду класса В, которая гораздо больше сходна с типичными звездами В, чем с типом А; звезда с характеристикой В9, наоборот, ближе к типу А, чем к В.

Измерения звездных температур показывают, что приведенный здесь порядок спектральных классов соответствует убывающей температуре звезд: от самых раскаленных голубовато-белых «орнионовских» солнц типа В, имеющих температуру от 10 000 до 20 000° С, мы постепенно спускаемся через «солнечные» звезды (5000—6000° — температура нашего Солнца) к сравнительно холодным красным звездам типа М, температура которых не превышает температуры самих горячих искусственных земных источников тепла (3000°). Мировые тела еще более низкой температуры, очевидно, светятся уже так тускло, что должны считаться темными телами, и мы не можем обнаружить их существование прямыми наблюдениями.

Долгое время почти все астрофизики придерживались мнения, что последовательные классы гарвардской классификации соответствуют звездам различного возраста, что самые белые и горячие звезды класса В являются самыми молодыми, а более холодные, красные, типа М представляют собой угасающие светила, близкие к окончательному потуханию. Как уже упоминалось в прошлой главе, это мнение получило, казалось, сильное подтверждение в открытии, что «орнион-

ские» звезды очень часто бывают связаны с громадными разреженными туманностями. Ведь в то время туманности считались очень горячими, поэтому было естественно принять, что звезда, только что «рождающаяся» из туманности, должна сразу получить самую высокую температуру, и вся история небесного тела с момента его превращения в «звезду» сводится, с этой точки зрения, к постепенному умиранию, т. е. угасанию и охлаждению в течение долгих миллионов лет. Последовательные ступени этого охлаждения и представляются различными классами гарвардской (или какой-нибудь другой) классификации. Если изобразить зависимость температуры звезды от ее возраста в виде графика, то ход температуры представится постепенно спускающейся («нисходящей») линией, на которой и расположатся один за другим все спектральные типы от В до М.

ТЕОРИЯ ЗВЕЗДНОЙ ЭВОЛЮЦИИ ЛОКЬЕРА

Только один астрофизик прошлого века, правда, в высшей степени авторитетный, никогда не признавал этой простой и естественной схемы. Это был знаменитый английский спектроскопист Локьер (Norman Lockyer), один из основателей спектрального анализа. Он давно и очень настойчиво указывал, что звезды, которые другими исследователями причислялись все к одному какому-нибудь классу (например, для красных звезд — к классу, который, по Пикерингу, обозначается М, по Секки — III класс и по Фогелю — IIIa), в действительности представляют собрание звезд двух совершенно различных типов. Только часть звезд каждого класса находится в данную эпоху в состоянии постепенного охлаждения и должны считаться «старыми», остальные же звезды, имеющие тот же спектр и ту же температуру, являются, наоборот, молодыми, «разгорающимися» светилами, температура которых с течением времени повышается. График звездной эволюции представляет, по Локьеру, не одну «нисходящую» ветвь, как в других теориях, а непрерывный подъем и спуск, две ветви — «восходящую» и «нисходящую».

На этих соображениях Локьер построил свою оригинальную классификацию звездных спектров. Она имеет вид «горы», причем часть спектральных классов располагается на подъеме (разгорающиеся звезды), другая — на спуске (стареющие звезды). На перевале, в точке высшей температуры, стоят

«оригинов» или «теплые звезды», часто упоминавшиеся выше, которые Пикеринг обозначает буквой В. Локьер различает среди них несколько отдельных классов; высшую точку занимает класс, который он называет «аргоннан» (по имени созвездия южного неба «Корабль Арго»). Вообще, для своих многочисленных классов (до двадцати) Локьер придумал названия по именам типичных звезд данного класса, например Сириан, Альдебараннан, Арктурнан (от звезд Сириус, Альдебаран, Арктур) и т. п. Две последних звезды большинством спектроскопистов причислялись к одному и тому же классу, именно типу К по гарвардской классификации. Локьер же усмотрел в этих спектрах маленькое различие, на основании которого он отнес Альдебарана к молодым, еще не разгоревшимся звездам, а Арктур, наоборот,—к угасающим, уже сильно охладившимся светилам. Подобным же образом Полярная звезда и Процион (обе класса F), по Локьеру, являются представителями двух совершенно различных классов—«Поляриан» и «Проционнан», первая звезда лежит на восходящей ветви, вторая—на нисходящей.

Выяснение спектральных тонкостей, на которых основана классификация Локьера, завело бы нас слишком далеко. Заметим только, что в спектрах звезд, отнесенных Локьером к числу «молодых», особенно заметны не те линии, скажем, водорода или железа, которые наблюдаются в наших лабораториях при обычных условиях, а другие, появляющиеся в спектрах этих элементов при особой обстановке (например, в электрической искре от лейденской банки). Локьер развил целую теорию превращения химических элементов и, согласно ей, принимал, что эти последние, «искровые», линии принадлежат не обычному железу или водороду, а элементам, находящимся в некотором первичном состоянии—«первичному» железу или водороду,—«протожелезу», «протоводороду», как он их называет¹.

Историю звезды Локьер представляет себе следующим образом. Начальным ее состоянием является громадный рой *метеоров*, облако холодной и несветящейся «космической пыли» (подчеркивание громадной роли метеоров в мироздании составляет одну из важных научных заслуг Локьера).

¹ Новая наука, не известная в прошлом столетии, «физика атома» называет теперь «протоэлементами» Локьера «ионизированными» элементами, т. е. элементами, атомы которых потеряли один или несколько электронов.

Вследствие столкновений отдельных частиц эта пыльная темная туманность мало-по-малу разогревается, начинает светиться и превращается, по крайней мере отчасти, в туманность газообразную. С течением времени все большее число метеоров переходит в газообразное состояние, пока не получится чисто газовая масса, которая должна принять (при отсутствии вращения) форму шара. Эта поворожденная звезда имеет очень малую плотность, громадные размеры и сравнительно невысокую температуру. Она светится слабым красным светом; но так как размеры ее диска колоссальны, то общее количество света, посылаемое звездой, может быть чрезвычайно велико, и звезда нам будет казаться очень яркой.

Дальнейшая судьба раскаленного газового шара может быть прослежена математически с большой достоверностью, на основании закона тяготения и другого простого физического закона, представляющего свойства газов при различных условиях. Закон этот дает зависимость между давлением, плотностью и температурой так называемого «идеального газа», т. е. газа, находящегося в весьма разреженном состоянии (а как раз в таком состоянии и находятся молодые звезды). Над вопросом о развитии газовых шаров работал целый ряд крупнейших физиков, начиная с великого Гельмгольца; особенно большое значение имеют работы Лэна (Lane) и Риттера в 70-х годах прошлого столетия, которые и использовал Локьер в своих построениях. Ясно, что газовый шар, подвергаясь постоянному охлаждению на своей поверхности, станет сжиматься, и давление, производимое наружными слоями на внутренние, увеличится. Оказывается, что это увеличение давления будет настолько значительно, что получится парадоксальный результат: звезда вследствие поверхностного охлаждения станет теплей, а не холодней, так как сжатие газовой массы разогреет количество теплоты более чем достаточное для того, чтобы покрыть потерю тепла через лучеиспускание¹.

Таким образом, постепенно сжимаясь, звезда делается все

¹ Так называемое «уравнение состояния» газа может быть выражено так: температура газа пропорциональна отношению его давления к плотности. С увеличением давления растет и плотность, и если бы они увеличивались в одно и то же отношение, то температура оставалась бы неизменной. Но для случая газового шара плотность обратно пропорциональна только кубу радиуса, а давление — четвертой степени радиуса.

горячей и белей и последовательно проходит все спектральные классы Локьера, лежащие на восходящей ветви. Это продолжается до тех пор, пока плотность звезды не станет настолько значительной, что свойства идеального газа уже к ней не могут применяться, и при дальнейшем увеличении плотности начнется охлаждение звезды. Она пройдет теперь классы нисходящей ветви, от белого цвета, через желтый, к красному, пока совершенно не потухнет.

Гениальная теория Локьера в течение долгих лет упорно отрицалась чуть ли не всеми астрофизиками конца прошлого века, и только начало нынешнего столетия принесло ряд фактов, подтверждающих ее, если не в деталях, то в общей схеме. На долю Локьера выпало счастье дожить почти до всеобщего признания и торжества своих идей: он умер в 1920 г., 81 лет от роду. Подтверждением теории Локьера явилось одно из замечательнейших открытий, когда-либо сделанных в астрономии, именно открытие *звезд-гигантов* и *звезд-карликов*.

ЗВЕЗДЫ-ГИГАНТЫ И ЗВЕЗДЫ-КАРЛИКИ

К началу XX века накопилось достаточно сведений о звездных расстояниях и поэтому можно было уже для довольно большого числа звезд определить их истинную (а не только видимую) яркость, т. е. ту яркость, которую бы они имели, если бы все находились от нас на одинаковом расстоянии, например на таком же расстоянии, как наше Солнце. И вот в 1905 г. немецкий астроном Герцшпрунг, сопоставляя полученные таким образом яркости ряда звезд, обратил внимание на то обстоятельство, что красные звезды разделяются по яркости на две резко разграниченные группы: к первой принадлежат очень слабые звезды-«карлики», в сотни и даже тысячи раз слабее нашего Солнца, а ко второй—звезды-«гиганты», яркость которых гораздо больше яркости Солнца. Между этими двумя группами совершенно нет промежуточных, переходных форм. Это открытие было подтверждено и распространено американским астрономом Рёсселем (Russell), положившим его в основу стройной, прекрасно разработанной теории звездной эволюции.

Исследования Рёсселя показали, что разделение на «карликов» и «гигантов» существует почти во всех спектральных классах гарвардской классификации. Только у белых звезд

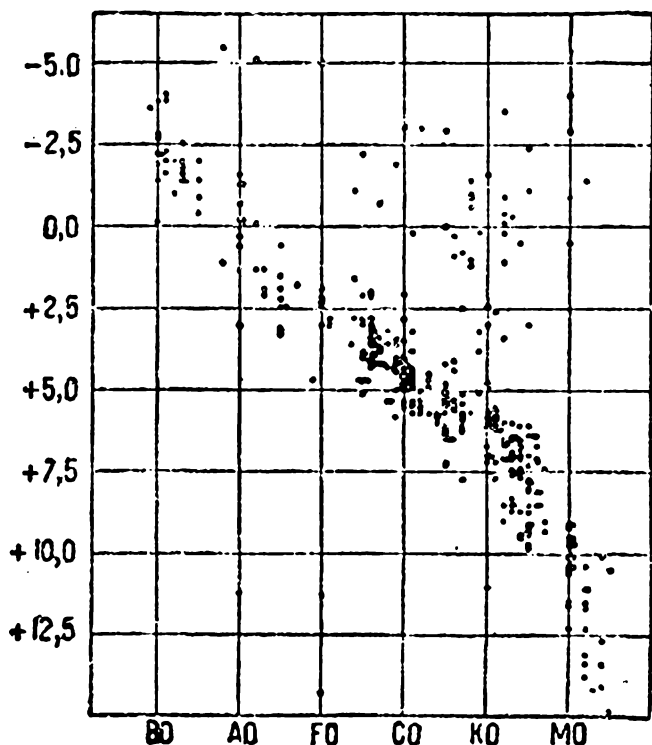
гигант А и особенно у «орликовых звезд» типа В не заметно резкого различия в яркости. В частности, все звезды В—«гиганты» и «сверхгиганты», в сотни и даже в тысячи раз ярче Солнца. Но уже у желтоватых звезд F разделение на гигантов и карликов становится очевидным, хотя различие в яркости еще не слишком велико и попадаются промежуточные яркости. У класса G (тип Солнца) различие уже гораздо больше, в классе K промежуточные яркости почти не встречаются и, наконец, для красных звезд типа М разница в блеске доходит до 9—10 звездных величин; другими словами, красные гиганты ярче карликов того же класса в 5000—10000 раз и больше. Замечательно, что гиганты во всех спектральных классах имеют, в среднем, одинаковую яркость, примерно, раз в 80—100 ярче нашего Солнца, между тем как средняя яркость карликов правильно убывает при переходе от белых звезд к красным.

Описанная зависимость между спектром звезды и ее истинной яркостью обыкновенно изображается в виде так называемой «ресселевой диаграммы» (черт. 7). По горизонтальной линии слева направо откладываются спектральные классы, по вертикальной—истинные яркости, в виде так называемых «абсолютных звездных величин»¹. Так называются те звездные «величины», которые имели бы звезды, если бы все они были помещены на некотором одинаковом расстоянии от нас (32,6 световых года). Например, наше Солнце с такого расстояния казалось бы нам звездой всего 5-й величины, и на диаграмме оно будет изображено точкой на пересечении линии 10 и +5.0. Подобным же образом на диаграмму нанесены все звезды, для которых к 1926 г. были более или менее точно определены абсолютные яркости. Большинство звезд образует хорошо заметный «главный ряд», в котором яркость быстро убывает от белых звезд В и А к красным М. Солнце приходится близ середины этого ряда, иначе называемого рядом карликов. Желтые и красные «гиганты» разбросаны выше и правее главного ряда. Чем выше нанесены звезды, тем

¹ Так называемые звездные «величины», которыми издавна характеризуют яркость звезд, теперь математически обоснованы. Звезда, например, 1,0 величины ярче звезды 2,0 величины во столько же раз, во сколько раз последняя ярче звезды 3,0 величины и т. д. Замечательной этой геометрической прогрессии принят равным 2,512 с таким расчетом, чтобы звезда 1-й величины была ярче звезды 6-й величины ровно в 100 раз, так как $\sqrt[5]{100} = 2,512$.

они ярче. Три самых верхних точки — это три «сверхгиганта» *минус* 5-й величины, т. е. в 10 000 раз ярче Солнца.

Указанная Рёсселем картина звездной эволюции вполне совпадает со взглядами Локьера. Звезда «рождается» из туман-



Черт. 7. Диаграмма Рёсселя.

По горизонтали отложены спектральные классы, по вертикали — абсолютные величины; например, Солнце изображено точкой, соответствующей спектральному классу G0 и абсолютной величине +5,0.

ности в виде красного «гиганта», газового шара чудовищных размеров, в сравнении с нашим Солнцем, и невообразимо малой плотности. Вследствие сжатия температура звезды повышается, яркость диска увеличивается, цвет становится все белее, и в течение неизвестного, но, конечно, громадного про-

между тем звезда проходит в *обратном* порядке восходящую лестницу спектральных типов в такой последовательности:

M, K, G, F, A, B.

В течение всего этого времени звезда остается гигантом. Хотя блеск ее поверхности непрерывно усиливался, но в то же время и уменьшались благодаря сжатию размеры диска, так что общее количество света оставалось приблизительно постоянным. В классе В звезда достигает своей наивысшей температуры и наиболее ослепительной белизны. После этого начинается ее упадок. Количество развивающейся теплоты становится уже недостаточным для того, чтобы покрывать потерю через лучеиспускание, температура начинает понижаться, блеск поверхности слабеет, а так как диаметр диска светила попрежнему уменьшается, то общая яркость звезды падает. Звезда опять проходит через те же спектральные классы, но уже в нормальном порядке:

B, A, F, G, K, M.

В каждом классе этой «нисходящей ветви» звезда имеет ту же поверхностную яркость и тот же цвет, какой у нее был на соответствующей ступени восходящей ветви, но какая печальная разница между ее теперешним и прежним состоянием! В самом начале эволюции это был гигант громадного объема, по плотности несравненно легче воздуха нашей атмосферы; теперь же это карлик, сжавшийся от охлаждения до «ничтожных» размеров, с плотностью во много раз больше плотности тяжелых металлов. Количество света, которое посылает его маленькая тусклая поверхность, теперь во много тысяч раз меньше, чем было во всю первую половину его жизни, и постепенно падает до нуля: звезда погасла.

Мы видим, таким образом, что гиганты и карлики Рёссели соответствуют восходящей и нисходящей ветвям Локьера. Тонкие спектральные признаки, по которым Локьер помещал звезду на ту или другую ветвь своей кривой, в большинстве случаев его не обманули: так например, из упоминавшихся выше звезд—Полярная, помещенная им на восходящей ветви, теперь причисляется к гигантам, а Процион (нисходящая ветвь)—к карликам. Зато по отношению к Арктуру он сделал ошибку: эта яркая звезда лежит не на нисходящей, а на

восходящей ветви, это — гигант, а не карлик. Не мешает заметить, что наше Солнце — карлик типа G, температура его падает, между тем как, например, Капелла, спектр которой почти не отличается от солнечного, — гигант, и полный расцвет ее еще в отдаленном будущем.

Не все звезды прodelьивают, по теории Рёсселя, полный цикл развития, т. е. от типа M к B и опять к M. Теория показывает, что чем больше масса сжимающегося газового шара, тем выше та максимальная температура, которой он может достигнуть. Поэтому не все звезды поднимаются до той степени белизны и тех спектральных свойств, которые соответствуют классу B; такой высокой температуры достигают лишь самые массивные небесные тела. И действительно, определения звездных масс показывают, что эти «орлионовы» звезды обладают значительно большими массами, чем звезды других классов: в то время как эти последние имеют массы одного порядка с Солнцем, для звезд орлионовского типа найдены массы, в 30—50 раз превышающие массу Солнца. Звезды с такими большими массами составляют скорее исключение, чем правило в звездной вселенной. Поэтому надо думать, что большинство звезд доходит на восходящей ветви до какого-нибудь низшего класса, например, до типа A, после чего начинают опять проходить состояния F, G и т. д. уже в виде звезд-карликов.

Громадные размеры и малая плотность звезд-гигантов, предсказанные теорией Локьера-Рёсселя, скоро были доказаны прямыми измерениями. Известный американский физик Майкельсон (Michelson) придумал особый метод (интерференционный), с помощью которого в 1920 г. удалось, наконец, измерить диаметры нескольких красных звезд. Оказалось, что, например, красный Антарес имеет диаметр в 400—500 раз больше диаметра Солнца, так что наше громадное Солнце меньше Антареса, примерно, во столько же раз, во сколько раз муха меньше слона. Но зато плотность этого сверхгиганта составляет приблизительно одну миллионную солнечной плотности т. е. слишком в тысячу раз меньше плотности воздуха у поверхности Земли. И это ведь звезда, а не туманность. Какова же, в таком случае, плотность настоящей туманности, и где граница между этими двумя классами небесных тел?

Далее Арктур, тоже звезда-гигант, но желтая, следовательно, старше Антареса, должна иметь, по Рёсселю, значительно меньший диаметр и большую плотность. И действительно, измерения показали, что поперечник Арктура «всего только»

в 27 раз больше поперечника нашего Солнца. Все это прекрасно подтверждало теорию Рёсселя.

Хорошо согласуются с этой теорией также *двойные звезды*, именно те многочисленные пары, в которых меньшая звезда белее и горячее большей. С точки зрения старой теории эти случаи были непонятны, так как меньшая звезда должна остывать скорее большей. Между тем, новая теория объяснила их очень просто. Оба компонента такой пары — гиганты; меньшая звезда, развивающаяся быстрее, приближается в настоящее время к эпохе наивысшей температуры, или даже уже достигла ее, она уже стала белой, между тем как больший компонент не поднялся выше первых ступеней «восходящей ветви», он *еще* остается красным.

ИССЛЕДОВАНИЯ ЭДИНГТОНА

Изложенная здесь теория звездной эволюции получила, вскоре после своего появления, блестящее математическое развитие в работах пеличайшего из ныне живущих астрономов, англичанина *Эддингтона*. В своих исследованиях над внутренним строением звезд, начатых в 1917 г., Эддингтон указал на одну силу, которая до него в этой области никем не учитывалась, и введение ее, как оказалось, не усложнило, а, наоборот, упростило задачу.

Внутри Солнца так же светло, как и на его поверхности. Каждая «сверхраскаленная» частица внутри звезды непрерывно посылает во все стороны световые колебания, или «эфирные волны». Правда, при той температуре в миллионы градусов, которая там господствует, большинство этих колебаний стоит ближе к очень коротким и частым колебаниям рентгеновых лучей, чем к обыкновенному свету. Но в одном, очень важном отношении дело от этого не меняется. Раз есть эфирные колебания, они должны производить вполне определенные, хорошо нам известные действия, в том числе — давить или отталкивать те предметы, на которые они падают. Вот эту-то силу *светового отталкивания* (см. выше главу 9) совершенно не принимали во внимание прежние исследователи физики Солнца и звезд. Эддингтон показал, что внутри звезды она играет громадную роль, причем действие ее, понятно, противоположно действию ньютоновского притяжения. Притяжение стремится сжать, световое отталкивание, наоборот, — «раздуть» звезду. Учет взаимодействия этих сил не предста-

влияет особенных трудностей, во только при условии, что звезда состоит из так называемого *идеального газа*, т. е. газа, в точности подчиняющегося известным очень простым законам расширения (законы Бойля-Мариотта и Гэ-Люссака).

Исследования Эддингтона привели к ряду замечательных выводов. Оказалось, например, что не может существовать звезды с неограниченно большой массой. Если масса газового шара превзойдет некоторый предел, то световое отталкивание внутри него достигнет такой громадной величины, что притяжение уже не сможет удержать вещество звезды, и она распадется. Этот предел массы, по подсчетам Эддингтона, не должен быть намного больше 10^{31} граммов, т. е. в 5 раз больше массы Солнца. С другой стороны, если масса звезды очень мала, примерно, меньше 10^{23} граммов, то она не сможет нагреться до такой степени, чтобы стать самосветящейся. Этот вывод удовлетворительно согласуется с наблюдениями: именно в этих пределах и заключено громадное большинство известных звездных масс. Значительно большие и значительно меньшие массы встречаются как исключение и, повидимому, они образовались при каких-то особенных, не типичных условиях.

Эддингтон проследил математически судьбу идеального газового шара ничтожной плотности и сравнительно низкой температуры. Полученная им теоретическая картина эволюции такой газовой массы совершенно совпадала с историей звезд Локьера-Рёсселя. Оказалось, что максимума температуры (на поверхности) звезда достигает в ту эпоху своей жизни, когда ее плотность будет заключаться между $1/10$ и $1/2$ плотности воды, и при дальнейшем уплотнении начинается уже охлаждение. Для очень массивных звезд (с массой раза в 4 больше Солнца) эта максимальная температура составляет около 15000° , т. е. как раз равна средней температуре «орлиновских» звезд класса В. Если же масса звезды равна массе Солнца, то эта температура не может превысить 9000° . Таким образом наше Солнце в максимуме своего блеска сияло белой звездой типа А (тип Сириуса), и температура его была тогда приблизительно на 3000° выше, чем теперь. Все это прекрасно подтверждало теорию Рёсселя и сделало ее очень популярной.

Но в 1924 г., продолжая свои исследования, Эддингтон сделал открытие, которое совершенно изменило положение вещей. Изучая такую «идеальную» газовую звезду, он пришел

к выводу, что общее количество света, излучаемое такой звездой, зависит почти исключительно от количества содержащегося в ней вещества. Выражаясь математически, оказалось, что абсолютная яркость идеальной газовой звезды есть функция одного переменного—*массы*. Следовательно, две звезды различных температур, но одинаковой массы, должны посылать нам одинаковое количество света (или, собственно говоря, «лучистой энергии», включая и невидимые глазом «тепловые» лучи). Эддингтон представил теоретическую зависимость между массой звезды и ее абсолютной яркостью в виде некоторой кривой линии. Когда он стал сравнивать свою теоретическую кривую с теми массами и абсолютными яркостями звезд, которые определены до настоящего времени, то нашел, прежде всего, что звезды-гиганты хорошо удовлетворяют найденному им соотношению. Этого и следовало ожидать: ведь звезда-гигант и есть, по теории Рёсселя, чисто газовый шар. Но оказалось, что на этой же кривой отлично укладываются и все звезды-карлики, массы и расстояния которых известны. Наблюдения согласовались с теорией лучше, чем ожидали, и это оказалось смертельным ударом для теории Рёсселя.

Действительно, звезды-карлики, по этой теории, представляют нечто отличное от звезд-гигантов. Звезда переходит в разряд карликов, когда при сжатии температура ее начинает падать, а не повышаться, т. е. когда она достигнет такой значительной плотности, при которой ее уже нельзя считать состоящей из совершенного газа. И вот оказывается, что это неверно. Газ может быть сжат до того, что его плотность станет *гораздо* больше плотности воды, и все-таки он сохраняет свойства идеального газа: уравнения Эддингтона одинаково справедливы и для звезд, гораздо более разреженных, чем наша атмосфера, и для звезд, которые плотнее железа. Момента наивысшей температуры, после которого звезда переходит в разряд карликов, указать нельзя. Звезда все время остается шаром из идеального газа, и температура ее все время должна повышаться. Таково первое следствие из замечательного открытия Эддингтона, и это, заметим, еще не самое удивительное следствие.

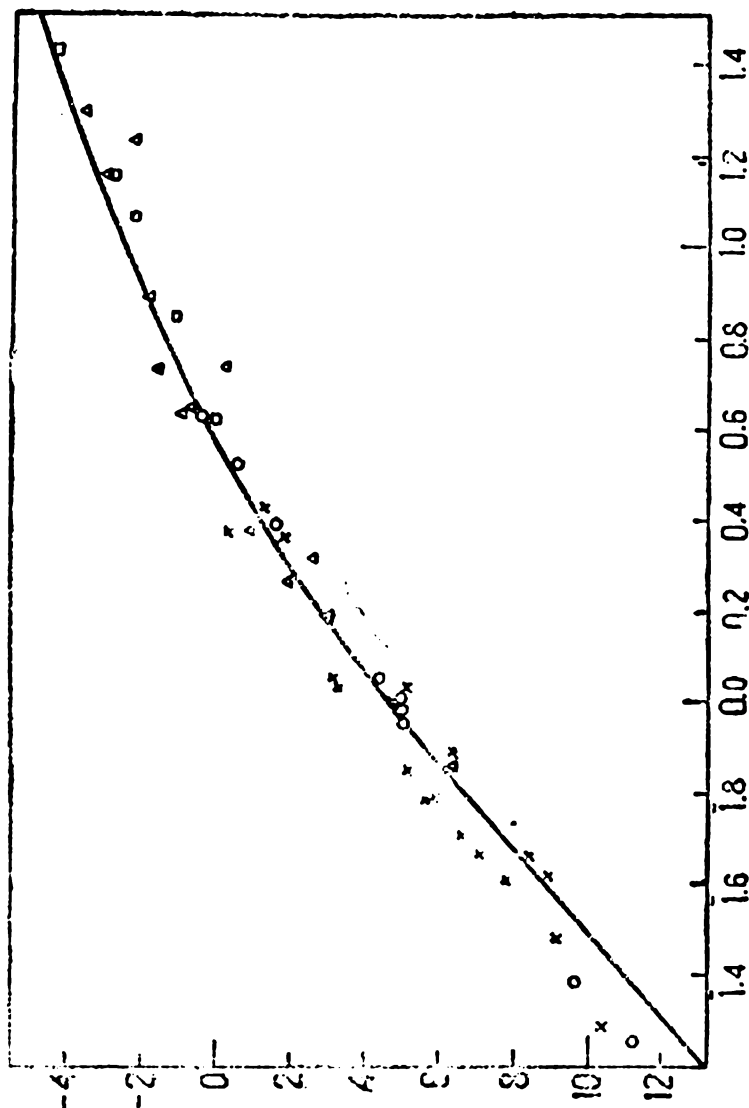
Другое следствие, еще более неприятное для теории Рёсселя, состоит в следующем. Яркость звезды зависит, по кривой Эддингтона, только от массы. Например, все звезды, имеющие массу нашего Солнца, должны иметь и одинаковую с ним

абсолютную яркость. Но теория «карликов-гигантов» говорит, что Солнце в своем теперешнем состоянии есть желтоватый карлик по яркости и диаметру, принадлежащий к классу G0 (см. диаграмму Рёсселя, черт. 7). Оно находится на нисходящей ветви, в ряду потухающих звезд. Но когда-то, говорит теория Рёсселя, Солнце проходило через тот же спектральный класс на «восходящей ветви», тогда оно было молодой, разгорающейся звездой-гигантом, и его «абсолютная яркость» была тогда, приблизительно, величины на 4 больше, чем теперь; оно тогда было 1-й величины, а не 5-й. И вот таких звезд-гигантов 1-й величины и с массой, равной массе Солнца, оказывается, до сих пор не найдено. Мы их встречаем только среди звезд, масса которых, примерно, втрое больше солнечной.

Вообще нет звезд, которые были бы гигантами только по своей яркости, обладая в то же время скромной массой, как думали до сих пор. Звезда, гигантская по своему блеску, является всегда гигантом и по массе (черт. 8).

Значит ли это, что в течение всей жизни звезды яркость ее остается постоянной? Да, если (как это думали до сих пор) остается постоянной ее масса. И наоборот: если яркость звезды уменьшается с течением времени, то это происходит потому, что *уменьшается ее масса*. Если наше Солнце было когда-нибудь звездой-гигантом, то оно тогда имело и массу, во много раз большую, чем теперь. Вот новая мысль, внесенная этим открытием в звездную космогонию: массы звезд с течением времени уменьшаются, белый гигант превращается в маленького красного карлика не только потому, что он сжимается, но и потому, что теряет значительную часть своей массы. Куда и отчего исчезает эта масса, об этом поговорим дальше.

Вернемся к физической стороне открытия Эддингтона. Как может газ, сжатый до плотности железа, сохранять свойства совершенного газа? Ведь это противоречит опытам наших лабораторий. Да, отвечает Эддингтон, в лаборатории это пока невозможно, это возможно только внутри звезды. Когда мы сжимаем газ, т. е. уменьшаем его объем, мы уменьшаем не самые молекулы или атомы газа, а уменьшаем только расстояния между ними, которые обыкновенно очень велики сравнительно с размерами самих атомов газа. Но что значит «размеры» атома? По теории, предложенной Рёзерфордом (Rutherford) в 1912 г. и подтвержденной массой фактов,



По горизонталі відлічен логарифм відношення числа зірок в скопі до числа зірок в полі. Маси Скопія прийнята за одиницю (апогарфм її рівня нулю); кружочка, що відносяться до скопія, що відноситься до Скопія.
Черт 3 Діаграма Еддингтона.

атом удобно представлять себе как некоторое подобие солнечной системы. Он состоит из ядра, заряженного положительным электричеством, вокруг которого кружатся «атомы электричества», отрицательные электроны. Ядро имеет чрезвычайно малые размеры (порядка 10^{12} см) и очень сложное, еще не вполне ясное строение; в нем сосредоточена почти вся масса атома. Диаметры орбит электронов в десятки тысяч раз больше диаметра центрального ядра. Диаметр орбиты самого далекого электрона и есть «диаметр атома». Но внутри звезды почти все атомы благодаря крайне высокой температуре оказываются ионизированными, т. е. они теряют часть своих электронов. При этом отрываются сначала «внешние», самые далекие электроны. Атомы по своим размерам становятся гораздо меньше; газ допускает поэтому несравненно более сильное сжатие, чем в «нейтральном», неионизированном состоянии, и все-таки остается газом.

До каких невероятных размеров может дойти плотность «газовой» звезды, это доказывают так называемые *белые карлики*. За последнее время было открыто несколько белых звезд (классов А и F), которые имеют очень большую массу, но очень малую яркость. Самая известная из них — спутник Сириуса, открытый в 1862 г., так называемый Сириус В. Он светит так слабо в сравнении с блестящим Сириусом А, что одно время его принимали за «планету», кружащуюся вокруг «солнца» Сириуса. Масса его громадна, почти равна массе нашего Солнца, но общее количество света ничтожно, несмотря на то, что его поверхность белее и ярче, чем у Солнца. Это значит, что его «диск» необыкновенно мал. Истинный диаметр его не превышает диаметра планет Урана или Нептуна, но точнее определить его величину пока трудно. Несомненно одно, что плотность Сириуса В больше плотности воды в *десятки тысяч раз*, и по крайней мере в тысячу раз больше плотности платины, самого тяжелого из всех металлов. Никакое твердое вещество не может достичь такой плотности; ее может иметь только идеальный газ (при температуре $40\,000\,000^\circ$).

Для остальных белых карликов вычислены еще большие плотности, для одной даже выходит плотность в четыреста тысяч раз больше воды (так называемая звезда *ван-Маанена*). Эти звезды, разумеется, совершенно не укладываются в диаграмму Рёсселя. На черт. 7 три такие звезды отмечены точками в самом низу диаграммы.

СОВРЕМЕННОЕ ПОЛОЖЕНИЕ ВОПРОСА

В результате всех этих открытий ясно, что теория развития звезд Рёсселя требует основательной проработки. По выражению Эддингтона, «теория сейчас находится в плавленном тигле», и во что она отольется, неизвестно. Главная трудность физической теории развития звезды связана с великим вопросом об *источниках энергии*, излучаемой Солнцем и звездами. Возможно, что этих источников несколько и что в одну эпоху жизни звезды преобладают одни источники, в другую—другие. Современной науке известны два главных источника солнечной энергии: это *сжатие* газовой массы под действием тяготения (гравитационная энергия) и превращение *массы в энергию* (так называемая субатомная энергия, т. е. энергия, которая заключена в атомах).

Теория Рёсселя учитывает, как мы видели, только первый источник энергии. Но этот источник, например, для нашего Солнца явно недостаточен. Точно подсчитано, что одну только сжатие могло бы покрывать расход солнечной энергии в течение приблизительно 30 миллионов лет, из них миллионов 15—20 в прошлом, остальное—в будущем. Срок этот, конечно, очень большой в сравнении даже со всей исторической жизнью человечества, но он решительно расходится с тем, что нам известно о возрасте нашей Земли: жизнь на Земле существовала уже сотни миллионов лет назад. Поэтому наряду с теплотой, производимой сжатием, необходимо искать другие источники энергии, более мощные.

Эти мощные источники скрыты внутри атома, и с ними мы только начинаем знакомиться; ведь самое главное в атоме, строение его ядра, нам почти неизвестно. Один из путей освобождения внутриатомной энергии мы уже знаем несколько лучше других, это *радиоактивность*, распад радиоактивных элементов (радия, урана и других), при котором непрерывно выделяется теплота. Но и этот источник, по всей вероятности, недостаточен. Недостаточен, по видимому, и другой источник, указанный Эддингтоном—превращение водорода в гелий, которое на звездах может происходить: четыре атома ионизованного водорода (четыре водородных ядра), соединившись, дают, по современным данным, один ионизованный

атом (ядро) гелия, иначе называемый частицей альфа. При этом выделяется громадное количество энергии, но все же недостаточное для объяснения всего лучеиспускания звезд.

Но каковы бы ни были те неизвестные процессы, при которых выделяется внутриатомная энергия, общий запас этой энергии может быть учтен на основании грандиозного обобщения, которое сперва было высказано только для электромагнитных сил и постепенно было распространено на все отделы физики: *масса и энергия эквивалентны*. Например, энергия имеет массу. Подсчитано, что 1 г массы эквивалентен $22 \cdot 10^{12}$ калорий тепла, т. е. такое колоссальное количество тепла образовалось бы при превращении в энергию 1 г массы. Обратно, излучая в пространство такое количество энергии, звезда теряет 1 г массы.

Так как освобождение внутриатомной энергии, даже по нашим крайне неясным сведениям, может происходить разными способами и в различных масштабах, то развитие разных звезд может идти различными путями, и единой схемы звездной эволюции, вероятно, не существует.

Возможен, например, следующий путь развития, который учитывает и сжатие звезды и потерю массы. Из красного, крайне разреженного гиганта типа М звезда переходит сравнительно быстро (в немного миллионов лет) в разряд белых гигантов В или А. Главным источником энергии в этом периоде, на восходящей ветви, является сжатие газа, потеря массы играет незначительную роль. Когда же *потеря массы* станет первенствующим источником, тогда звезда перейдет в разряд *карликов*, в «главный ряд» рёсселевой диаграммы. Постепенно уплотняясь, остывая и уменьшаясь в массе, звезда превратится в красного карлика типа М. Так как уничтожение массы дает колоссальное количество энергии, то передвижение звезды по главной линии диаграммы будет происходить несравненно медленней, чем движение по восходящей ветви. Возможно, что в дальнейшем может опять выступить на первый план сжатие звезды, почти без потери массы и следовательно, без изменения яркости. На диаграмме это отобразится передвижением точки из правого нижнего угла влево, почти по горизонтальной линии. В результате сжатия звезда может неимоверно уплотниться, температура ее опять повысится, цвет из красного станет белым. Получится «белый карлик», представляющий по этой гипотезе очень позднюю

стадию развития звезды; дальнейшая судьба его совершенно неясна.

Таким образом в звездах происходит, по этой теории, непрерывное превращение массы в лучистую энергию, в излучение. Но это, конечно, не означает, что вселенная идет к разрушению. Если вещество и лучистая энергия эквивалентны, то мыслим и обратный процесс—образование вещества из лучистой энергии, подчиненный уже известным нам строгим количественным законам. В беспредельности времени и пространства вселенной этот процесс где-нибудь должен иметь место, если мы и не находим его в наше время и в нашем уголке мироздания.

ВОЗРАСТ ЗЕМЛИ И СОЛНЦА

До сих пор мы почти не затрагивали вопроса о том, с какой скоростью протекают процессы развития звезд и планет и, в частности, сколько времени существует наша Земля как отдельная твердая планета. Давно ли Солнце образовалось из какой-то первичной туманности и стало светить? Долго ли оно еще будет светить? Последний вопрос имеет для всех нас особенно острое значение: ведь в настоящее время Солнце есть единственный источник всей жизни на земной поверхности, и судьба человечества неразрывно связана с его судьбой.

Еще недавно в оценке возраста Земли физики чрезвычайно сильно расходились с геологами. Но теперь в вопрос внесена ясность; для определения возраста Земли в нашем распоряжении есть целый ряд самых разнообразных способов, и все они дают, как говорят математики, величины «одного порядка».

История Земли записана в книге, которую люди научились читать лишь сто с небольшим лет тому назад. Книга эта—доступная нам оболочка земного шара, так называемая земная кора. Мы теперь знаем, как она образовалась. Было время, когда вся Земля представляла расплавленную, огненно-жидкую массу. Постепенно она остывала и затвердевала на поверхности, покрываясь твердой «корой». На эту твердую кору осели, из раскаленной земной атмосферы, массы водяных паров и образовали океан, который и теперь еще покрывает большую часть земной поверхности. Так было и тогда. Из громадного горячего океана вздымались каменные материк и острова. И эти материк и морское дно состояли из

«первозданных» горных пород, чрезвычайно твердых, вроде гранита. Как ни тверды были эти скалы, они не могли противостоять действию размывания и выветривания под влиянием воздуха, воды и изменений температуры. Они нагревались и промерзали, давали трещины, размывались дождями и морским прибоем. Мелкие обломки первозданных скал скатывались на морское дно и там постепенно образовали мощные слои песка и каменных осколков—морские «отложения».

С течением времени остывание земного шара распространялось все глубже, он сжимался, земная кора от этого давала морщины, складки. Одни места мало-по-малу опускались, другие поднимались, их «выпирало» вверх, образовывались новые горы и целые новые горные хребты; эти горы, в свою очередь, подвергались размыванию и разрушению. Этот процесс идет и в настоящее время, но очень медленно с человеческой точки зрения.

Все, кому случалось рассматривать крутой обрыв берега реки или оврага, знают, что разные породы там лежат пластами (глины, пески, твердые породы, например камень-песчаник—спрессовавшийся песок). Чем ниже слой, тем он древнее. Разные слои и представляют собой разные «страницы» истории Земли. По их составу и находящимся в них остаткам животных (окаменелостям) геологи научились отличать один слой от другого и дали им разные названия. Оказалось, что живые существа, населявшие Землю в минувшие эпохи, сильно отличались от современных. Чем выше слой, тем больше похожи остатки найденных в нем животных на современных. Остатки человека найдены в самых верхних слоях, на последних страницах книги.

Всего нагляднее такой способ оценки возраста Земли. Можно приблизительно подсчитать, какое количество песка, глины и пр. смывается в море со всех материков в течение года. Если предположить, что в прежние время размывание суши шло с такой же скоростью, то легко вычислить, сколько лет нужно, чтобы образовался осадочный слой толщиной, например, в 1 километр (общая толщина всех слоев составляет десятки километров). Ясно, что должны получаться громадные числа. Ведь за время существования земной коры много раз смывались почти бесследно целые горные хребты, такие же мощные, как Кавказ и Альпы. Наши современные горы должны постигнуть такая

же участь, а между тем кажется, что за время человеческой истории они почти не изменились.

Конечно, этим способом нельзя получить точный ответ, так как неизвестно, с какой быстротой шло размыwanie в прежние времена. Поэтому разные геологи получали разные результаты, но не менее 100—200 миллионов лет. Столько времени (а по всей вероятности, даже гораздо больше) было нужно для того, чтобы накопились те пласты осадочных пород, которые известны геологам.

Одним из наиболее точных считается способ, основанный на явлении *радиоактивности*. Редкий, очень тяжелый, металл *уран* постоянно и непрерывно разрушается: из него все время вылетают так называемые «альфа-частицы» и «бета-частицы»; первые представляют собой атомы гелия, вторые — отрицательные электроны. Конечным продуктом распада урана является свинец — замечательный случай превращения элементов, немыслимый с точки зрения классической химии. По некоторым признакам легко отличить свинец, образовавшийся из урана, от обыкновенного свинца. Превращение урана в свинец идет очень медленно и совершенно одинаково при всяких физических условиях.

Оказалось, что существуют минералы, в которых уран и свинец находятся вместе, и свинец всегда именно такой, какой образуется из урана. При этом урана всегда содержится гораздо больше. Так как скорость самопроизвольного распада урана известна, то по количеству свинца в минерале можно рассчитать, во сколько времени образовалось из урана данное количество свинца. Этим способом определили возраст ряда минералов.

Самый древний минерал из исследованных до сих пор имеет возраст 1300 миллионов лет. Столько времени прошло с тех пор, как образовался этот минерал, но вся земная кора в целом должна быть значительно старше. Ее возраст можно оценить, сделав гипотезу, что весь свинец, имеющийся на Земле, образовался в результате распада урана и другого радиоактивного металла — *тория*. Получаются числа от $2\frac{1}{2}$ до 6 миллиардов лет. Столько времени прошло с образования первоначальной земной коры на огненно-жидкой планете — Земле. Перед этим она, конечно, некоторое время была расплавленным самосветящимся телом, своего рода маленьким солнцем, но это не могло долго продолжаться. По расчетам Джефриса, Земля должна была покрыться тем-

ной корой уже через немногие тысяч лет после своего образования.

Так оценивает современная наука возраст нашей Земли. Несколько миллиардов лет Земля существует как небесное тело. Около миллиарда лет назад на ее поверхности появилась и стала развиваться жизнь. Не больше 1—2 миллионов лет прошло с тех пор, как один вид бесхвостых обезьян спустился с деревьев первобытного леса на землю, стал ходить на задних ногах и начал этим «доисторическую» жизнь человечества. Не больше 10—15 тысяч лет тому назад началась так называемая «историческая» жизнь человека, о первых ступенях которой до нас не дошло почти никаких сведений.

Обратимся теперь к истории Солнца. Мы знаем наверно, что за несколько тысячелетий известной нам человеческой истории Солнце не стало ни теплее, ни холоднее. Климаты различных областей Земли за это время совершенно не изменились. Больше того, геология говорит нам, что, в общем, климат Земли не изменился даже за все время ее геологической истории. Человек мог жить на Земле в любую эпоху, какая только известна науке. Конечно, за это время наступали изменения климата, например периоды значительного похолодания (так называемые ледниковые периоды), но их объясняют теперь различными изменениями в геологическом облике Земли: образованием новых морей и горных хребтов, изменением морских течений. Они имели земное, а не небесное происхождение. Отсюда вытекает в высшей степени важное заключение: Солнце в течение всего времени существования жизни на Земле из года в год посылало на Землю то же количество тепла и света, что и в наши дни. Солнце за этот миллиард лет несколько не изменилось. Значит, Солнце развивается еще гораздо медленнее Земли, *оно гораздо старше Земли.*

Ни с чем не сравнимая древность Солнца подтверждается целым рядом соображений, взятых из совсем других отделов науки. Важные выводы можно получить, изучая строение звездного мира. Мы видели уже, что звезды разбросаны в пространстве на громадных расстояниях друг от друга, так что не только столкновения между ними, но даже сколько-нибудь тесные сближения звезд должны случаться крайне редко. И тем не менее следы таких временных сближений звезд, по мнению Джииса, очень заметны. Он

их нашел, сопоставив статистически скорости больших, т. е. более тяжелых, звезд со скоростями более легких—карликов. Оказалось, что чем легче звезды, тем быстрее, в среднем, они движутся.

Это, по Джинсу, могло произойти только в результате частых «встреч» между звездами, которые, подобно столкновениям молекул газа, должны были вызвать именно такое распределение скоростей. Основываясь на этих соображениях, Джинс подсчитал, конечно, очень не точно, возраст нашей звездной системы и получил миллионы миллионов (10^{12}), т. е. тысячи миллиардов лет.

Число такого же порядка получается из подсчета запасов солнечной энергии. Мы уже говорили, что наиболее вероятным источником лучистой энергии Солнца современная наука считает превращение массы в лучистую энергию, «излучение массы». Каждый атом содержит громадное количество энергии, и когда мы научимся извлекать эту внутриатомную энергию, вся наша промышленная жизнь изменится самым радикальным образом. Подсчитали, что масса в 1 г (все равно какого вещества) содержит столько тепловой энергии, что эта теплота могла бы расплавить до жидкого состояния скалу в 50 000 тонн (30 000 вагонов камня). Возможно, что внутри Солнца непрерывно совершается этот переход массы в энергию. Хотя сущность этого процесса нам еще непонятна, но он поддается количественному учету.

Известно, сколько калорий тепла получает от Солнца в минуту 1 квадратный сантиметр земной поверхности,—это так называемая «солнечная постоянная»; она составляет немногим меньше 2 калорий. Отсюда легко вычислить, сколько энергии попадает в 1 минуту на все обращенное к Солнцу земное полушарие. Как ни громадно окажется полученное число, оно составит меньше одной двухмиллиардной доли всей энергии, которую непрерывно излучает Солнце. Действительно, лучеиспускание Солнца идет по прямым линиям, по всем направлениям. Если бы мы находились на Солнце, Земля казалась бы оттуда маленькой точкой, звездой: ее «диск» не был бы виден простым глазом. Только тот тоненький пучок лучей, который попадает на «диск» Земли, и составляет ее долю при общем дележе благ солнечной энергии между планетами. Он во столько раз меньше общего количества, во сколько раз «площадь» диска Земли меньше «поверхности» небесного свода. Для Земли это составляет

меньше одной двухмиллиардной доли; впрочем, и на другие планеты перепадает, примерно, по стольку же и даже меньше, так что можно сказать, что почти вся солнечная энергия уходит в мировое пространство.

Простой подсчет показывает, что для покрытия этого чудовищно расточительного расхода энергии на Солнце каждую секунду должно разрушаться, превращаться в радиацию, 4 200 000 тонн массы! Но если мы вспомним, что масса Солнца составляет $2 \cdot 10^{27}$ тонн (т. е. 2 с 27 нулями), то это разрушение не покажется нам особенно страшным. Потеря массы даже за миллиард лет составит всего одну пятнадцатитысячную долю всей массы Солнца. Таким образом три миллиарда лет тому назад, когда Земля еще только формировалась, Солнце имело, по всей вероятности, такой же вид и температуру, как теперь, только его масса была приблизительно на одну пятитысячную долю больше. И на будущее время мы, по всем данным, обеспечены солнечным теплом и светом даже не на миллионы, а на миллиарды лет, т. е. на время, которое нам кажется прямо бесконечным.

Эта невероятная медленность развития звезд и глубокая древность нашего Солнца являются одним из главных возражений против гипотезы Лапласа и вообще против всякой «небулярной» гипотезы образования планет. Солнце неизмеримо долгое время, тысячи миллиардов лет или дольше, существовало как одинокая звезда. Оно уже стало стареть, из белого гиганта превратилось в желтоватого карлика, потеряло значительную часть своей массы. Только сравнительно недавно, несколько миллиардов лет назад, от него случайно оторвалось несколько комочков газа, из которых образовались потом Земля и планеты.

Продолжим наше сравнение истории мира с книгой. Вообразим, что история звезды, которую мы называем Солнцем, написана так сжато, что на каждый миллион лет отведена одна страница, а на миллиард лет приходится один толстый том. Тогда история Солнца от его образования из туманности до нашего времени составит целую библиотеку, не менее тысячи томов, а может быть, и значительно больше. В последних 5—6 томах описывается появление и развитие планет. Только в последнем томе начинается геологическая история планеты № 3—нашей Земли, история живых существ на ее поверхности. В начале последней страницы последнего тома появляется первобытный человек лед-

никового периода, а в самой последней строчке этой последней страницы содержится вся историческая жизнь человека с пометкой: «продолжение в следующем томе». Этот следующий том теперь начинается.

В скольких томах будет выходить эта новая история, история мира, управляемого человеком? В нее вписано пока лишь несколько букв. Ведь история точного естествознания насчитывает лишь немного столетий, а научная техника еще моложе, она создается буквально на наших глазах. Нам кажется, что в научном овладении природой человек достиг уже громадных успехов. Но, в сущности, это только первый шаг по новому пути, который открывается перед нами.

Если представить себе, сколько еще времени у человека впереди, то горизонты наших возможностей надо признать прямо безграничными. Даже угасание Солнца, которое наступит же когда-нибудь, не будет страшно тому существу, в которое превратится человек через сотни миллионов лет. «Мы будем управлять Солнцем с помощью выключателей» — сказал несколько лет назад один английский физик.

УКАЗАТЕЛЬ ЛИТЕРАТУРЫ

В этот краткий, далеко не полный указатель русской литературы по космогонии вошли только сочинения, содержащие хотя и популярное, но более полное и систематическое изложение космогонических вопросов, чем в этой книге. Многочисленные общедоступные книжки и брошюры, а также учебники и большие популярные книги, в которых космогония затрагивается лишь частично и кратко, оставлены в стороне.

1. Классические космогонические гипотезы. Кант—Лаплас—Фай—Дарвин—Пуанкаре. Сборник оригинальных работ под редакцией и со вступительной статьей проф. В. А. Костицына («Классики естествознания», кн. IX), Гиз, М. 1923.

Содержит изложение классических гипотез самими их авторами в хороших переводах известных специалистов. Очень ценны примечания и особенно вступительная статья. Приложен список специальной литературы, главным образом иностранной.

2. Новые идеи в астрономии, сборник 1 и 3. Космогонические гипотезы, «Образование», СПб 1913.

Собрание переводных статей, излагающих подробно ряд гипотез конца XIX и начала XX вв. Не все статьи одинаково ценны, небольшая часть написана непопулярно.

3. Дарвин Дж., Приливы и родственные им явления в солнечной системе, Гиз, М. 1923.

Популярное изложение результатов специальных работ Дарвина; содержит подробное описание приливов в земных океанах и выяснение роли приливов в солнечной системе; дает много интересного и разнообразного материала.

4. Болл Р., Века и приливы, «Матезис», Одесса 1909.

Более краткий и более популярный, но блестяще написанный очерк теории приливной эволюции.

5. Аррениус, Образование миров, «Матезис», Одесса 1911.

Увлекательно написанная и необыкновенно богатая глубокими идеями книга. Но многие выводы автора в настоящее время устарели. (Есть и другие издания.)

6. Аррениус, Представление о мироздании на протяжении веков, «Природа», 1912.

Отличающееся теми же достоинствами изложение истории развития космических и космогонических идей с древнейших времен.

7. Мультиц, Введение в астрономию, Гиз, М. 1925.

В этом учебнике астрономии известного американского теоретика подробно изложена «пантеистическая» гипотеза. Гл. XV, которой она посвящена, была переведена с другого издания и издана раньше под заглавием:

8. Мультиц, Происхождение солнечной системы, Одесса 1908.

9. Нернст, Мироздание в свете новых исследований, Гиз, М.-П. 1923. (Есть и другое издание.)

Известное сочинение знаменитого немецкого физико-химика, излагающее гипотезы о развитии и судьбе материи, к которым, впрочем, следует относиться весьма осторожно.

10. Эддингтон, Звезды и атомы, Гиз, М.-Л. 1923.

Книжка, написанная с исключительным мастерством, блеском и глубиной. Содержит популярное изложение знаменитых работ автора о внутреннем строении звезд.

11. Джинс, Вселенная вокруг нас, М.-Л. 1933.

Книга так же мало нуждается в рекомендациях, как и предыдущая. Глазную ценность ее составляет, конечно, изложение гипотез самого автора. Но, кроме того, она охватывает в блестящем и в то же время простом очерке, всю современную картину вселенной от электрона до спиральных туманностей, как ее представляет себе один из величайших ученых нашего времени.

12. Джинс, Движение миров, ГТИ, М.-Л. 1933.

13. Строение и эволюция вселенной. Сборники статей под редакцией проф. А. А. Михайлова. Издание Коммунистического университета им. Свердлова, Сборник 1, М. 1925; то же, Сборник 2, М. 1926.

Сборники содержат ряд оригинальных и переводных популярных статей, излагающих современные теории строения и эволюции мира-адания. Во втором сборнике много места уделено геологической истории Земли, вопросу о ее возрасте и т. п.

Из журнальных статей последнего времени отметим следующие:

Джинс, Современная космогония, «Мироведение», т. XIX, № 3—4, 1930.

Джеффрийс, Происхождение солнечной системы (Там же.)

Джеффрийс, Будущее Земли, «Мироведение», т. XIX, № 5—6, 1930.

Джинс, Происхождение солнечной системы, «Мироведение», т. XXI, № 1—2, 1932.

Полак И. Ф., В чем состоит космогоническая гипотеза Лапласа, «Мироведение», т. XXI, № 6, 1932.

В статье отмечено, что во всех наиболее ходовых книгах по космогонии идеи Лапласа передаются не точно, вследствие слишком сжатого изложения подлинника.

Фесенков В. Г., О происхождении солнечной системы, «Астрономический журнал», т. VII, вып. 2, 1930.

Статья непопулярная, но, несмотря на это, дает очень много ценного материала даже для читателей, не знакомых с математикой. Подробно разбирается гипотеза Лапласа; много места уделено вопросу о возрасте Земли и Солнца.

СПИСОК ИЛЛЮСТРАЦИИ

(Цифры в скобках указывают страницы)

- Черт. 1. Второй закон Кеплера (20).
Черт. 2. Движение кометы по параболе (38).
Черт. 3. Объяснение приливов (54).
Черт. 4. Действие приливного трения на вращение Земли (56).
Черт. 5. Образование ветви спиральной туманности (99).
Черт. 6. Образование двойной звезды (105).
Черт. 7. Диаграмма Расселя (12).
Черт. 8. Диаграмма Эддингтона (128).

- Фиг. I. Туманность Ориона (II).
Фиг. II. Кругевая туманность в созвездии Лебеда (III).
Фиг. III. Планета Сатурн (IV).
Фиг. IV. Образование планетной системы по Лапласу (IV).
Фиг. V. Спиральная туманность M 41 в созвездии Гончих Собак (V).
Фиг. VI. Туманность M 31 Андромеды (VI).
Фиг. VII. Туманность M 33 в созвездии Треугольника (VII).
Фиг. VIII. Фотографии планетарных туманностей (VIII).
Фиг. IX. Фотография части Млечного Пути с темными туманностями (угольными мешками) (IX).
Фиг. X. Туманность M 101 в Большой Медведице (X).
Фиг. XI. Вращение туманности M 101 по ван-Маанену (XI).
Фиг. XII. Различные типы внегалактических туманностей I (XII).
Фиг. XIII. Различные типы внегалактических туманностей II (XIII).
Фиг. XIV. Большое Магелланово Облако (XIV).
Фиг. XV. Шарообразное звездное скопление в созвездии Геркулеса (XV).
Фиг. XVI. Плеяды (XVI).
-

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

Предисловие к третьему изданию	3
Предисловие ко второму изданию	4
1. Введение	5
2. Указания на развитие в мире небесных светил	12
3. Закон тяготения как основы космогонических гипотез	19
4. Бюффон и Кант	21
5. Гипотеза Лапласа	32
6. Возражения и поправки к гипотезе Лапласа	40
Спутники с обратным движением (40). — Спутники с очень быстрым движением (41). — Вопрос об образовании колец и о сгущении их в планеты (43). — Вопрос о направлении вращения планет (44). — Медленность вращения Солнца и планет вокруг осей (45). — Поправки к гипотезе Лапласа (47).	
7. Приливная эволюция	52
Понятие о приливах (52). — Приливное трение (55). — История системы Земля-Луна по Дарвину (59). — Рождение Луны (63). — Подтверждения гипотезы Дарвина (68).	
8. Небулярные гипотезы XIX — XX вв.	72
9. Природа туманностей	75
Внегалактические туманности (75). — Галактические туманности (82).	
10. Спиральные гипотезы происхождения солнечной системы	85
Взгляды Аррениуса (86). — Гипотеза Чемберлина и Мультона (91).	
11. Исследования Джинса	95
Гипотеза о происхождении спиральных туманностей (95). — Нормальная эволюция звезд. Двойные звезды (103). — Приливная гипотеза происхождения солнечной системы Джинса и Джефриса (108).	
12. Эволюция звезд	113
Гарвардская классификация звезд (114). — Теория звездной эволюции Локьера (116). — Звезды-гиганты и звезды-карлики (119). — Исследования Эддингтона (124). — Современное положение вопроса (130). — Возраст Земли и Солнца (132).	
Указатель литературы	139
Список иллюстраций	142
Приложение	I—XVI

1 р. 55 к. пер. 1 р.

Т-65-6-4

