

В. Г. ФЕСЕНКОВ

О ПРОИСХОЖДЕНИИ
СОЛНЕЧНОЙ
СИСТЕМЫ


ИЗДАТЕЛЬСТВО
ЗНАНИЕ

ФИЗИКА и ХИМИЯ

1960
СЕРИЯ IX

1

ВСЕСОЮЗНОЕ ОБЩЕСТВО
ПО РАСПРОСТРАНЕНИЮ ПОЛИТИЧЕСКИХ И НАУЧНЫХ ЗНАНИЙ

Академик
В. Г. ФЕСЕНКОВ

ЧТО ГОВОРЯТ
ДАННЫЕ НАБЛЮДЕНИЙ
О ПРОИСХОЖДЕНИИ
СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

*(Печатается по рекомендации президиума правления
Общества по распространению политических и научных
знаний РСФСР)*

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЗНАНИЕ»

Москва

1960

В начале брошюры дается краткая характеристика различных гипотез о происхождении солнечной системы, высказанных до настоящего времени. Затем делается попытка прийти к возможно более обоснованным заключениям на основании рассмотрения разнообразного фактического материала. С этой целью излагаются основные особенности, которыми отличаются различные тела солнечной системы, довольно подробно освещается вопрос об их возрасте и описывается их возможная эволюция.

Далее излагаются современные данные об образовании звезд и о происхождении Солнца и его возможной эволюции. Наконец, дискутируется основной вопрос о происхождении солнечной системы.

СО Д Е Р Ж А Н И Е

Стр.

Введение	3
Основные закономерности солнечной системы	7
Возраст солнечной системы	14
Возможная эволюция планетной системы	19
Происхождение и эволюция Солнца	28
Происхождение солнечной системы	35
Литература	47
Кинофильмы	47
Диафильмы	48

Автор
Василий Григорьевич Фесенков

Редактор В. В. Арсентьев
Редактор издательства
Н. А. Стрелкова
Техн. редактор Е. В. Савченко
Корректор З. С. Патеревская

Обложка художника А. Г. Ординарцева

А00020. Подписано к печати 18/1 1960 г. Тираж 35000 экз. Изд. № 314.
Бумага 60×92_{1/16} — 1,5 бум. л.—3,0 печ. л. Уч.-изд. 3,24 л. Заказ № 3174.
Цена 75 коп.

Типография изд-ва «Знание», Москва, центр, Новая пл., д. 3/4.

ВВЕДЕНИЕ

Человечество с давних пор интересовалось проблемой происхождения солнечной системы и Вселенной вообще. Но лишь с середины XVIII столетия появились первые попытки научно обосновать этот вопрос.

Первая космогоническая гипотеза, охватывающая не только планетную систему, но и всю Вселенную, какой она представлялась в ту эпоху, была высказана известным философом И. Кантом в 1755 году. По Канту, вся Вселенная произошла из первоначального хаоса, бесформенного состояния материи под воздействием только механических причин, вследствие свойств, присущих самой материи. Несколько позднее П. Лаплас дал свою более ограниченную, но математически более обоснованную гипотезу, объясняющую происхождение планет последовательным отделением газовых колец от быстро вращающегося первоначального сгущения будущего Солнца, разрывом этих колец и конденсацией составляющих их газов. Эта гипотеза пользовалась почти всеобщим признанием на протяжении примерно всего XIX столетия.

Главным возражением против нее явились огромные размеры планетной системы по сравнению с самим Солнцем и слишком медленное вращение Солнца вокруг своей оси. Действительно, наиболее отдаленная планета — Плутон — находится от Солнца в среднем на расстоянии, большем 4 тыс. солнечных диаметров, а при максимальном удалении ее расстояние от Солнца превосходит солнечный диаметр более чем в 5 тыс. раз. Солнце вращается так медленно, что полный оборот совершает примерно в 25 суток.

Остается неясным, почему газовые кольца, послужившие для образования планет, отделялись от Солнца вследствие центробежной силы, возникающей при быстром вращении. Ведь в то время, когда первоначальное Солнце представляло большую туманность с центральным ядром в ее середине, оно

должно было вращаться еще медленнее, чем в настоящее время, так как по мере уменьшения размеров изолированного вращающегося тела скорость его вращения должна возрастать.

Наряду с гипотезой Лапласа разными учеными (Фаем, Лигондесом, Си, Бело и др.) предлагались и иные гипотезы. Некоторые исследования были посвящены выяснению роли лишь отдельных процессов. Например, Дж. Дарвином было проведено математическое исследование механизма приливного трения. Этот механизм позволил Дж. Дарвину нарисовать картину истории Луны. Сопротивлением промежуточной среды детально занимался Си. Дж. Джинсом исследовалась так называемая гравитационная неустойчивость.

Рош исследовал возможность существования тел без заметного внутреннего сцепления составляющих их частиц в неоднородном поле тяготения. Рош, в частности, установил, что существует некоторое наименьшее расстояние, отсчитываемое от центра планеты, ближе которого спутник (частицы которого связаны только силами взаимного притяжения) не может существовать как целое самостоятельное тело. Разность сил притяжения планеты, действующих на ближайшие и самые удаленные частицы спутника, может оказаться столь значительной, что она превзойдет силу взаимного притяжения частиц спутника и разорвет его на отдельные части.

Если плотность спутника такая же, как и у планеты, и планету можно считать однородным телом, то разрушение спутника происходит при условии, если его расстояние от центра планеты будет меньше $2,44$ ее радиуса. Это расстояние называется пределом Роша.

Всякое газово-пылевое облако, находящееся в поле тяготения Галактики, должно иметь достаточную плотность для того, чтобы взаимное притяжение его частиц могло противостоять приливному воздействию, вызываемому притяжением галактического центра. Если плотность облака (а следовательно, и взаимное притяжение его частиц) окажется недостаточной, такое облако под воздействием этих приливов будет разрушено. Следовательно, во всяком поле тяготения существует минимальная плотность газово-пылевого облака, определяемая пределом Роша, при которой возможно существование такого облака в качестве индивидуального образования.

Подобные теоретические исследования значительно облегчали космогонические построения и позволяли их уточнять. Поэтому они имели большое значение. Теперь представляется ясным, что в прошлые эпохи Луна должна была находиться гораздо ближе к Земле и составлять вместе с ней своего рода двойную планету. Ясно также, что кольца Сатурна никогда не могут собраться в одно тело, а всегда должны оставаться

совокупностью отдельных мелких тел, расположенных в плоскости экватора планеты. Газовые кольца, отделявшиеся, согласно Лапласу, от вращающейся туманности, не могли образовывать отдельные сгущения — будущие планеты, и эти планеты не могли обладать запасом орбитального вращения, во много раз превышающим запас вращения самого центрального тела — Солнца.

С развитием космогонических исследований гипотеза Лапласа, по крайней мере в ее первоначальной форме, была признана несостоятельной. Заменявшая ее гипотеза Дж. Джинса предполагала действие посторонних сил при образовании планет солнечной системы. Эта гипотеза пользовалась довольно широким признанием не более 15 лет. Она также оказалась в противоречии с данными наблюдений. Джинс считал, что планеты солнечной системы произошли в результате весьма близкого прохождения около Солнца другой звезды. Проходящая звезда своим притяжением создала сильное приливное воздействие на Солнце. По направлению к проходящей звезде была выброшена огромная струя вещества, из которой позднее, в результате разделения струи и последующей конденсации, образовались планеты.

Гипотеза Джинса, как и гипотеза Лапласа, не смогла объяснить огромные размеры солнечной системы, что весьма убедительно было показано сначала Г. Н. Ресселом, а затем строго математически Н. Н. Парийским. К тому же принятие гипотезы Джинса требовало признания того, что планетные системы в нашей звездной Вселенной являются большой редкостью, так как расстояния между звездами огромны и поэтому их сближение является очень мало вероятным.

Позднее появился ряд новых космогонических гипотез, из которых, однако, ни одна не получила всеобщего признания.

К. Эджворт, Р. Литтлтон, академик О. Ю. Шмидт исходили из предположения, что материал, преимущественно пылевого характера, послуживший для образования планет, был захвачен Солнцем извне при его прохождении через какую-то достаточно уплотненную пылевую туманность. При таком предположении разрешалась задача объяснения огромных размеров планетной системы, но сам процесс захвата оставался крайне невероятным. Кроме того, поскольку из газово-пылевого облака могли быть захвачены составные части лишь определенной природы, как предполагается — мелкая пыль, но не рассеянный газ, планетные конденсации должны были образоваться путем соединения преимущественно твердых частиц, что не согласуется с данными о внутреннем строении по крайней мере больших планет.

Примерно в то же время Г. Альфвен выступил со своей электромагнитной гипотезой. Он указывал на действие маг-

нитных полей, которые имели значительную интенсивность даже на большом расстоянии от первоначального Солнца.

Не подлежит сомнению, что магнитное поле, состоящее из многих силовых магнитных линий, вокруг которых происходит движение ионизованных частиц газа, может способствовать местной конденсации материи и тем самым образованию первичных планет. В настоящее время хорошо известна та роль, которую играют электромагнитные силы в солнечной атмосфере, короне и даже в космическом межзвездном пространстве. Но значение их в истории солнечной системы еще далеко не выяснено.

Ф. Вейцзекер предложил свою гипотезу образования солнечной системы, рассматривая турбулентные (вихревые) явления в газово-пылевой туманности, окружавшей первичное Солнце. Он считал, что возникновение вихревых движений на определенных расстояниях от Солнца привело к образованию планет.

Гипотеза образования планет Дж. Кейпера основана главным образом на предположении, что имела место гравитационная неустойчивость и диссипация (рассеяние) планетных масс. По его мнению, современные планеты представляют лишь ничтожные остатки, по существу ядра первичных, гораздо более массивных планет.

А. И. Лебединский, Л. Э. Гуревич, В. С. Сафронов развивали космогонические воззрения академика О. Ю. Шмидта.

Таким образом, до недавнего времени подход к разрешению космогонической проблемы применительно к солнечной системе заключался в том, что в соответствии с представлениями данной эпохи намечалась исходная идея о механизме происхождения и развития планет солнечной системы. Из этой идеи делались выводы, которые сравнивались с полученными из наблюдений данными о движении и природе планет.

Прежде всего нужно было объяснить наблюдаемые закономерности в распределении планет относительно Солнца. При этом обычно обнаруживалось, что принятая гипотеза не могла объяснить те или иные особенности планетной системы, и поэтому наука оказывалась перед необходимостью менять исходные установки. Чисто дедуктивный метод не мог обеспечить полное решение проблемы происхождения солнечной системы, а тем более гарантировать единственность такого решения.

Следует заметить, что применение дедуктивного метода было в свое время неизбежным вследствие недостаточности наших сведений о прошлом состоянии планетной системы и ее возможной связи со всем космосом. Полученные с его помощью космогонические гипотезы, которые на определенном этапе развития науки не противоречили известным данным,

все же представляли важный для дальнейшего развития науки результат.

Только в настоящее время, благодаря огромным успехам астрономии и соприкасающихся с ней естественных наук, стало возможным перейти к индуктивному методу решения космогонической проблемы. Этот метод заключается в том, что мы идем от частного к общему путем постепенного обобщения получаемых выводов.

Мы анализируем отдельные стороны явлений, которые нам представляются типичными. Затем, на основании полученных заключений относительно развития отдельных образований, пытаемся сделать вывод и об их происхождении. Наконец, выводы о происхождении отдельных объектов или образований объединяются, и мы получаем общую картину происхождения солнечной системы.

Эта общая картина еще не может быть очень детализованной, но зато она более достоверна.

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

Центральное тело планетной системы — наше Солнце — представляет типичную звезду умеренной массы, достаточно постоянного излучения, имеющую медленное вращение вокруг оси. Оно существует, как будет показано ниже, в течение по крайней мере 4,5—5 млрд. лет.

Гравитационное воздействие Солнца простирается на расстояние, примерно в 100—150 тыс. раз превосходящее современный радиус земной орбиты. В пределах всей этой области солнечное притяжение превосходит притяжение других звезд, и все находящиеся здесь тела гравитационно связаны с Солнцем, если они не обладают значительными собственными скоростями.

Основная масса вещества в этой области сосредоточена в планетах и расположена сравнительно близко от Солнца и притом приблизительно в одной плоскости, а именно в плоскости эклиптики, составляющей с плоскостью солнечного экватора угол около 7° .

Вокруг Солнца обращается девять больших планет, а именно: Меркурий (0,39)¹, Венера (0,72), Земля (1,0), Марс (1,52), Юпитер (5,20), Сатурн (9,54), Уран (19,2), Нептун (30,1), Плутон (39,5). Планеты распадаются на две четко различающиеся между собой группы: 1) группа внутренних планет, или планет земного типа (до Марса включительно), состоящих главным образом из твердых минералов и обла-

¹ В скобках рядом с названием планеты приводится ее среднее расстояние от Солнца в единицах расстояния Земли от Солнца.

дающих небольшими атмосферными оболочками; 2) группа внешних планет (главным представителем которых является Юпитер) с быстрым вращением вокруг оси, незначительной плотностью, обширными атмосферами и значительными массами. Масса Юпитера в 318 раз превосходит массу Земли. Масса всех внешних планет солнечной системы почти в 250 раз превосходит массу внутренних планет, вместе взятых.

Расстояния планет от Солнца связаны некоторой общей закономерностью, выраженной в известной формуле Тициуса — Боде:

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

где n — целые числа, равные для Меркурия $-\infty$, для Венеры 0 и для других планет последовательно 1, 2, 3 и т. д. Эта закономерность распространяется на все планеты. Она показывает, что планетную систему нужно рассматривать как одно целое и что внутренние и внешние планеты должны были произойти путем единого процесса формирования, в результате действия одного и того же механизма.

Но тем не менее по своим физическим свойствам внешние планеты в корне отличаются от внутренних. Это различие характеризуется также и разрывом в пространстве: между обеими группами планет существует большая «прогалина» (при $n=3$ в формуле Тициуса — Боде, не соответствующем никакой большой планете). В этой «прогалине» в 1801 году был обнаружен астероид (малая планета) Церера, а в настоящее время число открытых малых планет превышает 1500.

Общая масса всех астероидов ничтожно мала и оценивается примерно в 0,0003 массы Земли. Эти малые тела солнечной системы располагаются главным образом в той же «прогалине» между орбитами Марса и Юпитера, что и Церера. Однако некоторые из них встречаются и дальше от Солнца, заходя даже за орбиту Сатурна.

Недавно обнаружена группа малых планет (Адонис, Икар и др.), обращающихся даже во внутренних областях солнечной системы и сравнительно близко подходящих к Земле.

Большинство астероидов очень напоминает обломки скал. Вследствие неправильной формы они при своем вращении отражают разное количество света. Поэтому яркость астероидов всегда несколько изменяется. По изменениям яркости можно судить о периоде вращения астероидов вокруг оси. Он оказывается равным примерно четырем часам и более или менее одинаков у большого числа малых планет.

Несомненно, что астероиды, движущиеся по орбитам, различно ориентированным в пространстве и пересекающимся между собой, особенно в области между Марсом и Юпитером, должны сталкиваться друг с другом и дробиться на части.

Помимо наблюдаемых астероидов, наименьшие из которых имеют поперечник около 1 км, существует множество еще более мелких астероидов, вплоть до небольших камней. Такие мельчайшие астероиды обнаруживаются лишь тогда, когда они сталкиваются с Землей. Например, Сихотэ-Алинский метеорит, упавший 12 февраля 1947 года на Дальнем Востоке, был по существу небольшим астероидом, имевшим до встречи с Землей массу около 1000 т. Такое тело могло бы наблюдаться как слабенькая звездочка примерно 16-й величины на расстоянии лунной орбиты.

На протяжении последних миллионов лет существования Земли на ее поверхность выпадали многие гораздо более крупные астероиды, образовавшие при своем падении большие кратеры, например на острове Сарема (Эстония), в Аризонской пустыне, в Северной Канаде и в других местах земного шара

Мелкие обломки астероидов, выпадающие на земную поверхность, называются метеоритами. Они изучаются в наших лабораториях. Определяется, в частности, содержание в них легкого изотопа гелия с атомным весом, равным 3 (He^3). Легкий изотоп гелия выделяется из атомов железа, всегда имеющегося в метеоритах, при облучении их космическими лучами в межпланетном пространстве.

Таким образом, по содержанию He^3 можно определить продолжительность времени, в течение которого эти метеориты странствовали вокруг Солнца. В ряде случаев эта продолжительность индивидуального существования, измеряемая всего лишь сотнями миллионов лет, оказывается очень малой по сравнению с возрастом солнечной системы. Так узнают, когда именно произошло дробление какого-то астероида, результатом которого явились обломки. Некоторые из них выпали в виде метеоритов на Землю.

Орбиты астероидов в своей совокупности располагаются симметрично относительно плоскости эклиптики, но у некоторых из них встречаются значительные наклонности, отсутствующие в случае больших планет.

В состав планетной системы входит также огромное количество комет. Большинство их является непериодическими. Они приходят к Земле из отдаленных областей сферы действия Солнца, двигаясь по почти параболическим орбитам в прямом или обратном направлении. Наклонности их орбит к плоскости эклиптики могут быть самыми различными.

Имеется также сравнительно небольшая совокупность периодических комет, которые по виду и размерам своих орбит разделяются на несколько семейств, тесно связанных с определенными планетами. Наиболее многочисленное семейство комет принадлежит Юпитеру. Интересно отметить, что периодические кометы, много раз возвращающиеся к Солнцу,

под воздействием его излучения быстро теряют заключенные в них газы и перестают светиться, быть видимыми.

Представляя собой скопления разрыхленного вещества, отдельные части которого слабо связаны между собой, кометы порождают метеорные потоки и иногда полностью распадаются. Примером этого может служить комета Биэлы, распавшаяся на метеорный поток Андромедид.

Продукты распада комет, так же как и продукты распада астероидов, пополняют межпланетное пространство газом и мелкой пылью. Они распределяются в общем симметрично относительно плоскости эклиптики. Рассеивая солнечный свет, эта межпланетная среда порождает явление, известное под названием Зодиакального света. Вещество этой межпланетной среды непрерывно обновляется. Самые мелкие пылинки (размером около десятой доли микрона) выталкиваются за пределы солнечной системы световым давлением. Более крупные из них, наоборот, падают на Солнце, так как теряют скорость под тормозящим действием той же солнечной радиации.

Можно подсчитать, что все вещество Зодиакального света, заключенное в пределах сферы с радиусом, равным расстоянию Земли от Солнца, полностью обновляется в течение примерно 100 тыс. лет.

Таким образом, межпланетная среда в настоящее время имеет вторичное происхождение и тесно связана с астероидами и кометами, которые постепенно теряют свое вещество. Она также связана частично с Солнцем, которое непрерывно с большой скоростью выбрасывает газовое вещество. Наконец, она связана и с планетами, атмосферы которых простираются на тысячи километров и лишены какой-либо определенной границы.

О свойствах первоначальной среды, существовавшей вокруг Солнца, можно судить скорее по особенностям внешних и частично внутренних планет, которые из нее образовались.

Недавно стало возможным довольно точно определить внутренний химический состав планеты Юпитер. По фигуре планеты (степени ее сплюснутости к полюсам) можно судить о степени ее внутренней неоднородности. При тех же размерах, массе и периоде вращения вокруг оси фигура планеты будет тем более сплюснута, чем более она однородна, т. е. чем большая масса сосредоточена в ее наружных слоях, на большем расстоянии от центра и, следовательно, чем больше-му действию центробежной силы она подвергается.

Сжатие Юпитера, т. е. превышение его экваториального радиуса над полярным, составляет только одну шестнадцатую. Если бы Юпитер был более однороден, он был бы еще более сплюснут. Математическое рассмотрение этого вопроса позволяет по действительной величине сжатия найти степень

неоднородности распределения масс внутри планеты. Следовательно, зная общую массу планеты, можно найти распределение давления внутри нее.

Рассматривая уравнение состояния водорода при различных давлениях, можно попытаться построить чисто водородную модель Юпитера, которая воспроизводила бы как массу, так и радиус планеты для полученной из наблюдений степени ее неоднородности. Оказывается, что чисто водородная модель не отвечает этим требованиям. Следовательно, Юпитер не может состоять только из водорода. В его слоях присутствуют и более тяжелые элементы.

В результате подробного рассмотрения этой проблемы получается, что наиболее вероятное содержание водорода в Юпитере в целом равняется примерно 85%, а остальные 15% принадлежат гелию в смеси с другими еще более тяжелыми элементами. При этом наружный слой планеты до глубины 0,14 ее радиуса, считая от поверхности, состоит преимущественно из молекулярного водорода. На этой глубине плотность достигает 0,4 плотности воды. Далее имеет место скачок в ходе плотности из-за изменения состояния водорода — перехода его в атомарное состояние, в так называемую металлическую фазу. Вследствие огромного давления, достигающего на этом уровне 700 тыс. атмосфер, электроны как бы освобождаются и оказываются уже несвязанными с определенным атомным ядром, что именно и характерно для металлической фазы.

При переходе в металлическую фазу плотность водорода скачкообразно увеличивается в 2 раза. В дальнейшем плотность непрерывно растет вплоть до глубины, соответствующей 0,29 радиуса планеты, считая от ее центра. После этого происходит новое скачкообразное ее изменение при переходе к центральной части планеты, состоящей уже из смеси водорода с другими более тяжелыми элементами.

Итак, можно считать доказанным, что большие планеты состоят главным образом из водорода, сравнительно небольшого количества гелия и еще меньшего количества более тяжелых элементов. Чем больше масса планеты, тем больше она содержит водорода. Наибольшее содержание водорода (до 85%) имеет, как указывалось выше, Юпитер, и в этом отношении он наиболее близок к Солнцу.

Таким образом, мы приходим к выводу, что чем больше масса планеты, тем больше она по своему составу похожа на Солнце. Отсюда следует, что состав той среды, из которой образовались планеты, вероятно, несколько не отличался от состава вещества, послужившего для образования Солнца. Резкое преобладание в планетах земного типа тяжелых элементов, довольно редких в природе, а также меньшее по сравнению с Юпитером содержание водорода в планетах

меньшей массы, таких, как Уран и Нептун, показывает, что далеко не вся масса первоначального вещества пошла на образование планет. Значительно большая ее часть, преимущественно легкие газы, рассеялась в пространстве.

Планеты земного типа отличаются совсем другими свойствами. Лучше всего нам известна наша собственная планета — Земля. Мы знаем, что поверхностные слои Земли состоят главным образом из кислорода (несколько больше 50%), кальция, кремния и других более или менее тяжелых элементов. По мере погружения в глубь Земли содержание кислорода постепенно уменьшается и в наиболее глубоких слоях, по всей вероятности, доходит до нуля.

Такой легкий газ, как водород, занимает среди других элементов в земной коре лишь восьмое-девятое место, а на Солнце и вообще в Галактике, включая межзвездное пространство, этот газ в большой степени преобладает над всеми остальными.

Метеориты фактически совершенно лишены водорода. В них ничтожно содержание гелия, к тому же преимущественно радиоактивного происхождения, выделяющегося при распаде урана и тория. Они состоят главным образом из силикатов, в которые входит кислород с примесью довольно значительного количества соединения железа и никеля.

Исследования показывают, что метеориты имеют очень сложную структуру, в которой существуют определенные соотношения между различными элементами. Это соотношение между содержанием железа, никеля, кобальта и других элементов, входящих иногда в виде ничтожных примесей, но в строго определенных пропорциях, по единодушному мнению геохимиков и минералогов, могло установиться только в первоначально расплавленной среде.

Кометы, имеющие газовые и в некоторых случаях пылевые хвосты, по-видимому, состоят в значительной мере из загрязненных льдов, образованных из замерзшего метана, аммиака и воды. Под влиянием солнечного нагревания происходит испарение вещества головы кометы.

Освободившееся от сил сцепления в голове кометы газово-пылевое вещество, под действием давления солнечной радиации и корпускулярного излучения, отталкивается в сторону, противоположную Солнцу, и образует хвосты с заключенными в них быстро движущимися облачными образованиями. Такие тела, как кометы, могли образоваться только вдали от Солнца, не ближе внешних планет или даже вне планетной системы.

Типичным для химического состава среды, из которой произошли планеты солнечной системы, очевидно, нужно считать состав именно внешних планет, как потому, что масса их составляет 99,5% всего планетного вещества, так и пото-

му, что благодаря этой большой массе в этих планетах могли сохраниться, не рассеиваясь, все, даже легкие элементы.

Очень важно сравнить соотношение между различными элементами, наиболее обильно представленными в веществе планет, в частности нашей Земли, с соотношением их на Солнце. Г. Н. Рессел указал, что в обилии наиболее распространенных металлов между Солнцем и Землей имеется полное соответствие. Металлы, более обильные на Солнце, более обильны и на Земле. Элементы, присутствующие в ничтожных количествах на Солнце, являются редкими и на Земле.

Однако, обращаясь к неметаллическим элементам, мы видим совсем иную картину. В то время как кислород или кремний, по-видимому, одинаково распространены на Солнце и на Земле, водород в солнечной атмосфере чрезвычайно обилен, что представляет большой контраст с ничтожным его количеством на Земле.

Солнце богато углеродом, азотом и, в особенности, инертными газами. Они очень обильны также в космическом пространстве, но почти отсутствуют на Земле. При этом нужно еще принять во внимание, что современный гелий, встречающийся в земной атмосфере, несомненно является продуктом альфа-распада радиоактивных веществ. То же самое относится к аргону с атомным весом 40 (продукт распада кальция) и частично к неону, как это вытекает из некоторых недавних исследований.

Из изложенного приходится сделать заключение, что первоначальная среда, послужившая для образования планет, имела такой же состав, как и Солнце, и, следовательно, была с ним генетически связана. В процессе формирования планет земного типа элементы, сходные с металлами, т. е. имеющие высокую температуру плавления, могли полностью сохраниться. Элементы же типа металлоидов с очень низкой температурой плавления не могли быть удержаны. Исключение составляет кислород, который вследствие своего огромного химического сродства к металлам вошел в состав земной коры в виде химических соединений с ними.

Наиболее четко диссипация (рассеяние) легких газов проявляется на примере водорода, содержание которого находится в тесной зависимости от массы планеты. У планет большей массы встречается и большее содержание этого элемента. Диссипация из атмосферы Земли такого газа, как гелий, не подлежит сомнению. Общее количество этого газа, выделившегося за время существования Земли из ее коры только вследствие радиоактивного распада, во много раз превышает фактически наблюдаемое его содержание.

Таким образом, значительная уценка гелия в космическое пространство наблюдается и в настоящее время.

Может показаться неясным, почему земная атмосфера

столь бедна такими тяжелыми газами, как криптон или ксенон, которые сравнительно обильны в космосе и, по всей вероятности, должны были находиться в той среде, из которой образовались планеты. Это объясняется тем, что эти тяжелые газы составляли лишь небольшую примесь к водороду и должны были увлекаться им при его диссипации.

Итак, химический состав внешних и внутренних планет солнечной системы, по-видимому, говорит в пользу единства среды, послужившей для образования и планет и самого Солнца. Все эти тела, связанные в единую гравитирующую систему, связаны между собой и генетически.

Правда, имеются некоторые различия в изотопах некоторых элементов на Солнце и на Земле или в межпланетной среде. Например, известно, что отношение обычного водорода к его тяжелому изотопу — дейтерию на Земле составляет около 5 тыс., а на Солнце — около 500 тыс., т. е. Земля относительно гораздо богаче дейтерием. Однако это можно объяснить тем, что на Солнце дейтерий расходуется в процессе атомных реакций, служащих для поддержания солнечной радиации.

Г. Юри во время дискуссии по проблемам космогонии на X съезде Международного астрономического союза (в Москве, 1958 г.) указал, что обилие некоторых элементов — хрома, железа, никеля, меди и др. — на Солнце и в метеоритах несколько различно. Однако, по мнению других выступавших (например, А. Камерона), это не может служить аргументом против общности первоначальной среды, из которой произошли Солнце и планеты.

ВОЗРАСТ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

В настоящее время не подлежит сомнению, что все планеты солнечной системы образовались примерно в одно и то же время. Иначе невозможно было бы объяснить то обстоятельство, что все они связаны между собой и представляют единое целое, подчиняющееся определенным общим закономерностям. Солнце должно иметь такой же или даже более значительный возраст, чем планеты.

Метеориты — пока единственный класс космических тел, которые можно изучать непосредственно в наших лабораториях, несомненно, принадлежат нашей планетной системе. Они образовались и продолжают образовываться путем дробления астероидов в результате их взаимных столкновений. Определение возраста самого вещества метеоритов, которое образовалось в недрах астероидальных тел, дает возможность судить о продолжительности времени, протекшего с начала образования планет.

Возраст метеорита определяется путем измерения относи-

тельного содержания в нем различных элементов, образующихся в результате радиоактивного распада урана и других радиоактивных элементов. Радиоактивный распад сопровождается выделением альфа-частиц, т. е. ядер изотопа гелия He^4 , и в конечном счете приводит к образованию свинца. Зная скорость подобного распада и определяя количество урана в данном образце метеорита и количество свинца, получившегося из урана, можно вычислить время, необходимое для того, чтобы имело место найденное соотношение урана и свинца.

Это время, очевидно, должно отсчитываться от эпохи, когда произошло отверждение вещества, ибо с этого момента начальная и конечная фазы, т. е. в данном случае уран или торий, с одной стороны, и свинец — с другой, оставались всегда пространственно между собой связанными.

Однако в метеоритах, особенно железных, содержание урана ничтожно. Очень мало в них и содержание радиоактивного свинца. Поэтому предпочтительнее находить содержание не свинца, а гелия, т. е. промежуточного вещества радиоактивного распада. Возраст разных метеоритов, определяемый по содержанию гелия, колеблется в пределах от нескольких сот миллионов до примерно семи миллиардов лет. Однако такой легкий газ, как гелий, плохо удерживается внутри каменных метеоритов, особенно при их нагревании. А мы не знаем, какие перипетии приходилось испытывать подобным телам за время их продолжительных странствований в пределах солнечной системы.

Кроме того, первичные космические лучи способны выбивать из ядер железа два изотопа гелия — He^3 и He^4 , находящиеся между собой в определенном соотношении. Таким образом, не весь измеряемый гелий в метеоритах обусловлен распадом урана. Некоторая, и притом значительная, его часть имеет космогенное происхождение, обязана действию космических лучей. Это обстоятельство усложняет проблему определения возраста метеоритного вещества по содержанию гелия.

Вместе с тем определение доли легкого изотопа гелия He^3 дает возможность установить, в течение какого времени происходило облучение метеорита космическими лучами. Оно могло, очевидно, происходить лишь после выделения метеорита из недр прародительской планеты, где его вещество было скрыто от непосредственного воздействия космических лучей.

Другими словами, применение гелиевого метода открывает возможность на примере ряда метеоритов проследить, когда и как происходит дробление астероидов и выделение из них сравнительно мелких метеоритных тел и даже космиче-

ской пыли. Оказывается, что подобный процесс происходит фактически и в настоящее время.

Более надежные определения возраста самого метеоритного вещества можно получить по содержанию в метеоритах соответствующего изотопа свинца.

Известны четыре устойчивых изотопа свинца: свинец с атомным весом 206 (Pb^{206}), который получается как конечный продукт распада тяжелого урана (U^{238}); свинец с атомным весом 207 (Pb^{207}), получающийся из актиноурана (AcU^{235}), в настоящее время имеющегося в количестве в 140 раз меньше, чем первый, более тяжелый изотоп; свинец с атомным весом 208 (Pb^{208}), получающийся из тория; и, наконец, свинец 204 (Pb^{204}), который совсем не радиоактивен и наличие которого характеризует содержание первоначального свинца, существовавшего до начала радиоактивного распада. Но с самого начала, возможно, могли присутствовать также и другие изотопы свинца, упомянутые выше.

Приходится искать средство для оценки первоначального соотношения между различными изотопами свинца и предполагать, что оно было одним и тем же во всех возможных случаях.

Было произведено исследование железных метеоритных масс Аризонского кратера в Калифорнии и метеоритных масс из кратера Генбюри (Австралия). В этих случаях было найдено одно и то же соотношение изотопов свинца. Ввиду ничтожного содержания в железных метеоритах урана, можно предположить, что это соотношение характерно и для первоначального свинца.

В таком случае можно определить возраст метеоритного вещества по свинцово-свинцовому методу с довольно хорошим внутренним согласием результатов. Для каменных метеоритов Нуэво Ларедо, Форест Сити, Модок в среднем найден возраст, т. е. время, протекшее с эпохи отвердения их вещества, равный $(4,55 \pm 0,07) \cdot 10^9$ лет.

Большое распространение получил метод определения возраста вещества, в основе которого лежит процесс разложения радиоактивного калия (K^{40}) и перехода его в радиоактивный аргон, в большом количестве встречающийся в земной атмосфере, и в кальций (Ca^{40}). Этот метод был впервые разработан и успешно применен Э. К. Герлингом и его сотрудниками в Лаборатории геологии докембрия АН СССР и в Институте геохимии АН СССР. Аргон, отличающийся гораздо большим атомным весом, меньше подвержен утечке из каменных метеоритов, чем радиоактивный изотоп гелия. Для ряда каменных метеоритов этот метод также дает максимальный возраст около 4,5 млрд. лет, что подтверждается результатами, полученными и другими методами.

Итак, метеоритное вещество с его характерным кристаллическим строением отвердело в каком-то родоначальном теле, принадлежавшем солнечной системе уже 4,5 млрд. лет тому назад. Этот возраст, по-видимому, представляет наиболее надежное значение также и для возраста всей солнечной системы в целом.

Подобные же радиоактивные методы могут быть применены для определения возраста любого вещества, содержащего радиоактивные элементы и продукты их распада. В дальнейшем этот же метод будет применен к материалам, из которых состоит поверхность Луны и других планет, после того как наши межпланетные корабли доставят пробы грунта этих небесных тел. Вторая советская космическая ракета 14 сентября 1959 года достигла поверхности Луны. Третья советская космическая ракета, запущенная 4 октября 1959 года, совершила облет Луны и позволила сфотографировать часть ее поверхности, невидимую с Земли. Выдающиеся успехи советских ученых в исследовании космоса позволяют надеяться, что пробы грунта с других планет будут доставлены в земные лаборатории в не столь отдаленном будущем.

Говоря о возрасте Земли как планеты, нужно прежде всего иметь возможность судить о том, насколько исследуемые образцы земной коры могут характеризовать возраст Земли в целом. Само собой разумеется, мы не говорим о возрасте осадочных отложений, который сравнительно велик и даже для наиболее древних кембрийских слоев не превышает полумиллиарда лет.

Возраст самых древних пород пегматитовых скал в Восточной Канаде и в Северной Карелии оказался около 1200 млн. лет. В последнее время установлено, что некоторые южноафриканские минералы имеют возраст по крайней мере 2,7 млрд. лет и, возможно, 3,2 млрд. лет. Изотопный анализ многочисленных свинцовых минералов позволил А. Холмсу определить, что отверждение земной коры началось примерно 3,4 млрд. лет назад.

Однако, поскольку земная кора продолжает развиваться и нам недоступны ее наиболее глубокие слои, можно считать, что действительный возраст Земли как планеты, отсчитываемый от эпохи, когда закончилось ее формирование из межпланетной среды, превышает это значение. Таким образом, не будет неправильным, если и для Земли как планеты будет принято значение возраста, указываемое метеоритами, а именно — порядка 4,5 млрд. лет.

Определение возраста Солнца должно базироваться на других принципах. В данном случае мы также исходим из рассмотрения определенного необратимого процесса, ибо только необратимые и притом равномерно протекающие про-

цессы приводят к таким изменениям, по которым можно определить время, в течение которого эти процессы происходили. Изменение состояния Солнца необратимого характера обусловлено непрерывным испусканием им радиации, а также корпускулярного излучения, т. е. истечения потоков материальных частиц, преимущественно атомов водорода.

Излучение Солнца, как известно, поддерживается ядерными превращениями в его центральной зоне. Там водород переходит в гелий. Из четырех ядер водорода строится ядро гелия. Масса четырех ядер водорода превышает массу ядра гелия на $4,84 \cdot 10^{-26}$ г. Избыток массы переходит в энергию излучения. Превращение водорода в гелий в большей части происходит с участием углерода в качестве катализатора и требует очень высокой температуры. В несколько меньшей степени оно осуществляется путем синтеза дейтерия, ядер тяжелого водорода (H^2). Таким образом, содержание водорода в Солнце постепенно уменьшается.

Для суждения о времени, прошедшем после образования Солнца, нужно знать первоначальное содержание в нем водорода. Оно, очевидно, соответствует относительному обилию этого элемента в межзвездной среде в эпоху образования Солнца. Нужно знать, далее, характер эволюции Солнца, которое в прошлом должно было представлять более массивную и, следовательно, более яркую звезду. Наконец, нужно иметь возможность оценить относительное содержание водорода на Солнце в настоящее время, и не только в его поверхностных, но и в глубинных частях. Для этого требуется детально разработанная теория внутреннего строения и эволюции звезд, построенная на основе теории поддержания энергии их излучения ядерными реакциями.

Все это представляет значительные трудности, тем более, что свойства внутренних слоев Солнца, весьма возможно, подвержены периодическим изменениям с периодом, по мнению Э. Эпика, в 250 млн. лет.

Из изложенного видно, что определение возраста Солнца на основании происходящих в нем ядерных реакций не может быть сделано сколько-нибудь надежно. Наиболее вероятный возраст Солнца — 5 млрд. лет.

Итак, следует заключить, что Солнце представляет очень старую звезду и наша планетная система, в частности Земля, представляет также очень старое образование. Они должны были возникнуть в сравнительно раннюю эпоху существования Галактики, в то время как множество других звезд имеет гораздо более позднее происхождение.

Необходимо рассмотреть, как могли измениться различные тела планетной системы, прежде всего Земля и Солнце, в течение длинной истории их существования.

ВОЗМОЖНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ПЛАНЕТНОЙ СИСТЕМЫ

Какова могла быть прошлая история солнечной системы?

В настоящее время перед нашими глазами происходят необратимые изменения, которые показывают, что состояние планетной системы не могло оставаться постоянным за время ее длинной истории. Не подлежит сомнению, что наша планетная система в отдаленном прошлом могла существенно отличаться от своего теперешнего состояния. Однако воспроизвести начальные условия, имевшиеся в планетной системе, — задача чрезвычайно трудная.

Солнце является типичной звездой и потому входит в состав известного статистического распределения — в главную последовательность на диаграмме Герцшпрунга — Рессела (см. диаграмму), представляющую зависимость между абсолютной светимостью и температурой звезд. На главной последовательности диаграммы располагается большинство звезд нашей Галактики. Более массивные и вместе с тем более яркие звезды имеют более высокую температуру и обладают очень быстрым вращением вокруг оси. С уменьшением массы звезд падает их светимость, уменьшается температура и замедляется вращение вокруг оси.

Указанная закономерность особенно хорошо заметна при исследовании звезд, принадлежащих одному и тому же звездному скоплению, в котором все звезды находятся от нас практически на одном и том же расстоянии. Таково, например, известное скопление Плеяд, представляющее совокупность звезд, в котором невооруженным глазом можно рассмотреть пять-шесть, редко восемь звезд, а в телескоп их обнаруживается несколько сотен. Все яркие звезды в Плеядах массивны и быстро вращаются вокруг оси. Они окружены пылевой туманностью, легко видимой на фотографии, полученной даже с небольшой выдержкой.

По мере перехода к более слабым звездам температуры их оказываются все более низкими. Самые слабые звезды в Плеядах имеют температуру в 3500—4000° и поэтому имеют красноватый цвет.

Подобные соотношения между важнейшими характеристиками звезд имеют место и для большинства звезд нашей Галактики.

Эти, а также многие другие соотношения можно объяснить теоретически, допустив существование корпускулярного излучения¹, т. е. предположив, что каждая звезда не только испускает обычную радиацию, но также выбрасывает со своей поверхности с большой скоростью равномерно по всем

¹ Корпускулярное излучение — потеря звездами своей массы, выброс ее в космическое пространство.

направлениям собственное вещество в виде частиц газа. При этом допущении как следствие получается не только уменьшение массы и связанной с ней светимости, но в еще большей мере — замедление вращения звезды вокруг оси.

Если наше Солнце также испускало корпускулярное излучение, достаточно интенсивное в прошлом, то естественно объясняется его медленное вращение в настоящую эпоху, сравнительно умеренная масса и незначительная светимость по сравнению со многими другими звездами.

Корпускулярное излучение действительно наблюдается у многих звезд, как правило массивных, имеющих протяженные оболочки. Оно наблюдается также у двойных звездных систем, не говоря уже о новых и сверхновых звездах. Можно предположить, что оно было присуще также и нашему Солнцу, если считать, что Солнце на ранней стадии своего развития было звездой, располагающейся на верхней части главной последовательности. Дело, однако, осложняется тем, что, как было показано П. П. Паренаго и другими исследователями, главная последовательность не представляет единой группы, а разделяется на две части — верхнюю и нижнюю, и притом как раз в том ее месте, где находится Солнце.

Таким образом, Солнце можно с одинаковым правом отнести или к концу верхней или к началу нижней части главной последовательности. Звезды, принадлежащие верхней и нижней части главной последовательности, различаются между собой прежде всего характером ядерных реакций в центральном ядре, поддерживающих лучеиспускание звезды. Для звезд нижней части главной последовательности эволюционная картина, вытекающая из концепции корпускулярного излучения, по-видимому, не имеет места.

Таким образом, хотя Солнце несомненно эволюционирует в направлении замедления вращения и уменьшения массы и тем более светимости, нельзя сказать с уверенностью, в каких масштабах могли произойти эти изменения за все время его существования. Во всяком случае за последний миллиард лет, в течение которого на нашей планете существует органическая жизнь, заметного уменьшения солнечной радиации произойти не могло.

Рассмотрим проблему эволюции нашей Земли как планеты за продолжительное время ее существования. В настоящее время еще невозможно дать полное решение этой проблемы, но тем не менее можно указать на вполне определенные факты.

Несомненно, что теперешняя атмосфера Земли имеет вторичное происхождение. Исследованиями академика В. И. Вернадского установлено, что свободный кислород в атмосфере обязан своим происхождением исключительно деятельности зеленых растений и планктона океанов. В перво-

начальной атмосфере Земли кислород мог быть только в виде соединений углекислоты и водяного пара. Азот также имеет частично растительное происхождение, но основная его часть вышла из внутренних слоев Земли. Это в значительной мере наблюдается и в настоящее время.

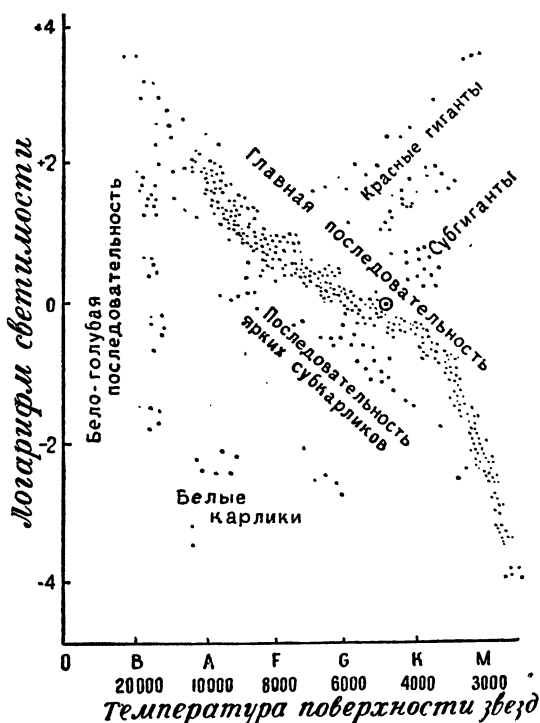


Диаграмма «Светимость — температура поверхности звезд», по данным П. П. Паренаго.

Буквы (от В до М) соответствуют принятой в астрофизике спектральной классификации звезд. Под каждой буквой указана соответствующая ей температура поверхности звезды. Место Солнца обозначено кружочком.

Инертный газ аргон присутствует в атмосфере в заметном количестве (около 1%). Изотоп аргона с атомным весом 40 (Ar^{40}) выделился из недр Земли при радиоактивном распаде изотопа калия (K^{40}). Изотоп аргона (Ar^{40}) составляет в настоящее время 99,6% всего количества аргона, имеющегося в атмосфере. Другие его изотопы Ar^{36} и Ar^{38} должны быть первичного происхождения.

Космическое обилие Ar^{36} и Ar^{38} таково же, как и обилие Ar^{40} , или даже больше. Но в земной атмосфере их осталось ничтожно малое количество по сравнению с Ar^{40} , хотя при современных условиях всякая утечка этих сравнительно тяжелых

газов в межпланетное пространство совершенно исключается. Это указывает на то, что атмосфера в значительной мере пополнилась Ar^{40} из земной коры.

Ксенон и криптон — весьма тяжелые газы, также довольно обильные в космосе, должны были несомненно остаться в первоначальной атмосфере Земли, какой бы ни была ее температура, если бы они, как можно полагать, не были унесены при диссипации несравненно более обильного водорода, входившего составной частью в первичную земную атмосферу. Водородная оболочка даже в настоящее время не могла бы удержаться около Земли, тем более она должна была улечься в первичные эпохи ее существования, когда температура нашей планеты была значительно выше. Водород уносил с собой, увлекал также и небольшие примеси более тяжелых газов.

В солнечной атмосфере постоянно наблюдается подобный процесс увлечения более обильным, хотя и более легким газом — водородом — другого менее обильного, хотя и более тяжелого газа — кальция.

Итак, можно сделать заключение, что современные инертные газы в земной атмосфере или были выделены в результате радиоактивного распада из земной коры, как, например, гелий, аргон и в небольшой степени неон, или же остались в ней в ничтожной пропорции от первичной атмосферы. Эта первичная атмосфера почти целиком рассеялась в пространство. Современная же атмосфера имеет вторичное происхождение и была выделена из недр Земли наряду с углекислотой и водяными парами.

На протяжении всей истории Земли достаточно интенсивно происходили тектонические и вулканические процессы. В настоящее время постепенно выясняется механизм образования земной коры, возникшей вследствие дифференциации, разделения веществ, входящих в состав нашей планеты.

Кремнекислые соединения перемещались кверху и образовали наружный сиалический слой, т. е. слой, состоящий из горных пород с преобладанием кремнезема (Si) и алюминия (Al) (отсюда, из соединения латинских названий Si и Al, и название слоя — «сиаль»). Кремнекислые соединения уносили с собой радиоактивные вещества, которые имеют большое сродство с соединениями кислорода. Ниже оставались более тяжелые магматические вещества, образуя в основном более глубоко расположенную мантию Земли. В их состав, кроме кремнезема (Si), входит магний (Mg) (отсюда из сокращений — название слоя «сима»). Подобный вынос магмы из глубинных частей Земли представлял необратимый, постепенно замирающий процесс.

Постепенное замирание этого процесса сопровождалось

также постепенным замиранием вулканической деятельности на Земле. Как описывает академик А. П. Павлов, в прошлом образовывались огромные базальтовые поля, занимающие многие миллионы квадратных километров, которые наблюдаются, например, в Гренландии, на Енисее, Тунгуске, Шпицбергене, в Индии, в отдельных областях Северной Америки и в других местах земного шара.

Откуда же взялась вода современных океанов? Она должна была выделиться из самих недр Земли в процессе ее остывания. При каждом вулканическом извержении из недр Земли выделяется огромное количество водяного пара, выпадающего затем в виде потоков дождя на земную поверхность. Точно так же при очень интенсивной магматической деятельности, сопровождающей образование континентальных массивов, на земную поверхность должно было выпасть огромное количество воды, что и повело к образованию современных океанов.

Геренсон показал, что гранитная магма при больших давлениях, соответствующих тем, которые имеются на глубине 10—20 км, может удерживать в растворе огромное количество воды, достигающее до 10% веса магмы. При уменьшении давления способность содержать воду быстро падает и вода начинает выделяться наружу в виде пара. При охлаждении магматического расплава должно происходить выделение пара, что и наблюдается во всех лавах.

Следовательно, всякий вынос наружу сиалического материала, служившего для образования континентов, должен был неизбежно повести к выделению огромных количеств воды, оставшейся на остывающей Земле, заполнившей промежутки между поднятыми сравнительно легкими континентами и образовавшей океаны и моря.

Если принять, что в среднем глубина океанов, равномерно распределенных по всей земной поверхности, составляет около 3—4 км, то для объяснения появления такого количества воды нужно предположить, что вынос вещества происходил в пределах лишь небольшой толщи, примерно в 20—30 км, что как раз соответствует толщине коры земного шара.

Ювенильная вода, т. е. вода, выделившаяся из магматических пород, из которой первоначально состояли воды океанов, уже содержала различные минеральные соли. Обогащение ее различными элементами происходило постепенно, в результате необратимого процесса, а именно размывания материков реками, уносящими продукты размывания в море. До некоторой степени подобный процесс мог происходить также и на дне океанов, что приводило к образованию глубоких подводных каньонов в местах, которые никогда не поднимались выше уровня моря.

Итак, выделение воды океанов из недр Земли произошло в результате общей магматической деятельности и по существу сопровождало единый процесс формирования земной коры с ее континентами и океанскими впадинами. Под океанами земная кора сравнительно тонка. Например, в центральной части Тихого океана, по данным, полученным сейсмоакустическими методами и путем изучения волн землетрясений, она оказалась равной только 4,8—7 км. Ниже расположен более плотный базальтовый слой толщиной в несколько километров, выше гранитный слой порядка всего лишь 1—2 км, а в некоторых местах еще меньше. С другой стороны, континенты сложены преимущественно из гранитных масс, которые уже вследствие своей относительной легкости должны были подняться на более высокий уровень. Таким образом, более тяжелое базальтовое основание естественно должно быть занято океанскими впадинами и залито водой.

Происхождение континентов еще далеко не ясно.

По существу образование материков есть образование гранита в огромных масштабах, что первоначально было связано с выделением из недр Земли силикатного расплава при температуре около 1000°. Естественно, что наиболее благоприятные условия для образования гранитов встречаются в зонах усиленной тектонической деятельности. Этот процесс продолжается в замедленном темпе и в настоящее время. Молодые граниты образуются из расплава более старых или из осадочных отложений.

Таким образом, тектонические силы и вулканическая деятельность играли огромную роль в прошлой истории земного шара, что требовало, очевидно, высоких температур в очагах на глубинах, согласно Грейтону, гораздо глубже 100 км.

Тектоника и вулканизм проявлялись также в колоссальной мере на нашем спутнике — Луне, хотя масса ее в 80 раз меньше земной. Известно, что лунная поверхность покрыта тысячами кратеров и кольцевых гор различного размера и различного возраста. Некоторые исследователи высказывали предположение, что эти структурные формы произошли в результате падения метеоритов и даже настоящих крупных астероидов диаметром в десятки километров. По их мнению, это должно было иметь место в отдаленную эпоху и почему-то не происходило на Земле.

Множество фактов опровергает эту точку зрения. Достаточно указать на довольно широкое распространение на Луне, наряду с мелкими кратерами, также правильных куполообразных возвышенностей (их особенно много в окрестностях кратера Коперник, находящегося почти в центре лунного диска). На Луне встречаются также кратеры с многоугольными изломанными стенами — валами, которые не

могут образоваться при падении метеоритов. Их особенно много в районе северного полюса. Наличие отдельных столовых гор, или заполненных кратеров, вроде Варгентина, который возвышается над окружающей поверхностью в виде плоского овального стола, тоже указывает на вулканическое происхождение лунного рельефа.

Обнаруживается тесная связь общей тектоники лунного рельефа, проявляющейся в ряде сбросов и отдельных трещин, с расположением кратеров и кольцевых гор. На вулканизм указывает наличие жерл на вершинах центральных гор в ряде кратеров, которые, следовательно, можно считать настоящими вулканами, а также распространение парных кратеров — близнецов, очевидно связанных общим происхождением.

Может показаться странным, что на Земле, как правило, отсутствуют кольцевые формы, столь обычные на Луне. Это объясняется размыванием и выветриванием, которые происходят чрезвычайно быстро с геологической точки зрения.

В результате размывания выравниваются и исчезают целые хребты, а тем более вулканические образования насыпного характера. Однако в активных в настоящее время вулканических областях, а именно в окрестностях Неаполя и в районе Тихоокеанской вулканической дуги, можно обнаружить многие кальдеры, подобные лунным кольцевым горам. Ряд таких кальдер на Камчатке был обнаружен академиком А. Н. Заварицким при помощи проведенной им аэрофотографической съемки. Валы этих кальдер частично размыты и местами нарушены, несмотря на их сравнительно недавнее происхождение, но хорошо распознаются с самолета. Вполне понятно, что в древних вулканических областях Земли подобные кальдеры должны были давно исчезнуть.

Наконец, можно указать на то, что в очень слабой степени вулканическая деятельность на Луне проявляется и в настоящее время.

Почти каждый селенолог, систематически изучающий Луну, может указать несколько примеров небольших изменений на ней и даже отметить появление новых мелких кратеров. Например, В. Пикеринг констатировал появление их на дне кратера Платона. Другим примером может служить исчезновение кратера Лчннея в море Ясности, который, согласно Ю. Шмидту, был еще хорошо замечен в середине XIX столетия. Недавно было констатировано исчезновение кратера Альгацен диаметром в 40 км, расположенного около моря Опасностей.

Нужно заметить, что все подобные свидетельства, хотя и не вызывали возражений, но все же встречали несколько скептическое отношение со стороны астрономов, непосредственно не занимающихся изучением Луны: столь широко

было распространено мнение о Луне, как о совершенно застывшем теле.

Поэтому большое впечатление произвело открытие, сделанное Н. А. Козыревым и В. И. Езерским, которые в ноябре 1958 года наблюдали извержение лунного вулкана центральной горки кратера Альфонс. Полученная ими спектрограмма позволяет сделать вывод, что произошел выброс газового облака, состоявшего преимущественно из углекислоты. Таким образом, извержения на Луне, сопровождающиеся выделением газов, получили подтверждение при помощи современных научных наблюдательных средств.

Итак, на нашем спутнике также выделялись и выделяются газы даже большого молекулярного веса. Почему же, спрашивается, на Луне нет никакой атмосферы, которую можно было бы обнаружить наиболее тонкими современными средствами? Даже при покрытии Луной такого мощного источника радиоизлучения, каким является Крабовидная туманность, не наблюдается никакого отклонения радиоволн. Это указывает на то, что плотность лунной атмосферы должна быть во много миллионов раз меньше, чем плотность атмосферы Земли. Очевидно, лунная атмосфера, содержащая даже такие, связанные с вулканической деятельностью тяжелые газы, как двуокись серы SO_2 , имеющую молекулярный вес 64,1, полностью диссипировала.

Конечно, процесс диссипации весьма облегчается тем, что на поверхности Луны сила притяжения мала, она в 6 раз меньше земной. Однако при современной температуре поверхности Луны все достаточно тяжелые газы с молекулярным весом, большим 60, должны были бы оставаться на ней неопределенно долгое время.

Отсюда следует, что в эпоху активного вулканизма на Луне температура ее поверхности была достаточно велика для того, чтобы обусловить полную утечку в окружающее пространство всей ее атмосферы. То же самое произошло с первичной атмосферой Земли и с некоторыми составляющими ее вторичной атмосферы.

В таком случае возникает вопрос: каков источник столь значительной внутренней энергии таких сравнительно небольших планет, как Земля или Луна? Этих источников можно указать несколько.

Во-первых, энергия всегда выделяется при образовании компактного тела из некоторой рассеянной массы вследствие происшедшего уплотнения. Более или менее свободные частицы, рассеянные в некоторой среде, в совокупности обладают, конечно, большей энергией, чем сжатые частицы, занимающие меньший объем и лишенные внутренних движений. Как известно, при достаточно быстром процессе подобной гравитационной конденсации не менее половины кинетической

энергии, возникающей из потенциальной, идет на нагревание.

Далее, при конденсации из первичных более или менее простых молекул, перемешанных с твердыми частицами, получаются довольно сложные минеральные соединения. Эти химические превращения также сопровождаются выделением энергии. На значение этого источника энергии при образовании планетных тел указывал Г. Юри.

Затем, под действием давления, быстро возрастающего с глубиной, минералы, находящиеся во внутренних слоях планеты, в ряде случаев переходят в более уплотненные их разновидности, занимающие меньший объем и, следовательно, имеющие также меньшую внутреннюю энергию. Разность энергий выделяется в виде тепла.

Существенно, что все эти процессы ведут к быстрому освобождению энергии и, следовательно, к нагреванию планеты в самую раннюю эпоху ее существования.

Радиоактивные элементы, рассеянные везде во Вселенной и присутствующие также в образующихся планетах, при своем распаде также создают разогревание. Однако оно проявляется весьма медленно, вследствие того, что период полураспада большинства радиоактивных веществ достаточно велик. При этом тепло, выделяемое радиоактивными элементами в центральных частях Земли, целиком идет на нагревание, так как излучаться наружу оно почти не может. Теплопроводность начинает проявлять свое действие только на некоторой, не очень большой глубине под поверхностью.

Разогрев, получаемый в результате радиоактивного распада, в большой мере зависит от распределения радиоактивных веществ внутри Земли.

Если радиоактивные вещества были все время равномерно распределены в массе Земли, то с течением времени должен был получиться достаточно сильный разогрев всей планеты, преимущественно ее промежуточных частей. Детальные вычисления для этой модели распределения радиоактивности были сделаны Е. А. Любимовой и Ю. А. Якобсом.

Если же очень скоро после формирования Земли радиоактивные вещества были вынесены в ее поверхностные слои, где они находятся в настоящее время, то никакого существенного влияния на тепловое состояние всей земной массы, за исключением тонкого поверхностного слоя, они оказать не могли.

Для суждения о том, как произошли планеты, в частности Земля, необходимо оценить значение различных источников энергии в нагреве планетных масс.

Некоторые исследователи, как, например, академик О. Ю. Шмидт, принимали, что первоначальная масса Земли находилась в холодном состоянии и в дальнейшем разогре-

лась исключительно благодаря радиоактивности. Другие (например, Гарольд Джеффрейс), много занимавшиеся проблемой термической истории нашего земного шара, указывают, что гравитационная конденсация сопровождается выделением тепла, опосредованного при его сохранении довести температуру Земли до $10\,000^\circ$ и во всяком случае привести всю ее массу в жидкое состояние. Джеффрейс приходит к заключению, что невозможно утверждать с уверенностью, находилась ли Земля первоначально, при своем образовании, в жидком состоянии или нет.

Быть может, некоторым дополнительным указанием в этом отношении могут служить определения возраста земной коры, о которых говорилось ранее. Допустим, что возраст земной коры примерно совпадает, по крайней мере для отдельных случаев, с возрастом Земли как планеты, известным на основании исследования метеоритного вещества. Отсюда можно будет сделать заключение, что отверждение, а следовательно, и предшествующий расплав соответствующей породы, должно было произойти уже в самом начале истории земного шара.

Радиоактивность, особенно связанная с распадом таких элементов, как уран, торий или калий, действует чрезвычайно медленно и может обусловить надлежащее нагревание только по прошествии миллиардов лет. Поэтому если нагрев обусловлен радиоактивным распадом, то он произошел значительно позже образования Земли. В этом случае промежутки времени, прошедшие после расплава и отверждения земного вещества, должны быть значительно меньше возраста Земли.

Наиболее древние горные породы, встречающиеся на Земле, показывают возраст, согласно радиоактивным измерениям, не менее 3,5 млрд. лет. По-видимому, это указывает на то, что вещество Земли имело высокую температуру еще до полного проявления на ней радиоактивности. Другими словами, в процессе формирования нашей планеты гравитационная, а тем более химическая энергии имели большое значение.

Итак, Земля, а следовательно, и другие планеты, формировались сразу во всей своей массе, а не собирались в результате длительного процесса из отдельных пылевых частиц.

ПРОИСХОЖДЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ СОЛНЦА

Звезды — это самосветящиеся тела, испускающие радиацию, источником которой являются ядерные реакции, происходящие в их центральных областях и требующие больших плотностей и высоких температур. Планеты — это несветящи-

еся тела, в которых не происходит никаких ядерных реакций, но имеет место обычная радиоактивность, а также проявляются гравитационные и чисто химические источники энергии.

Основное различие между обоими классами тел состоит в их массе. Если, например, массу Юпитера увеличить в несколько десятков раз, то давление и температура в его центре повысятся настолько, что станут возможными самопроизвольные ядерные реакции. Он превратится в звезду, т. е. перейдет в существенно новое качественное состояние.

Проблема происхождения звезд, в частности нашего Солнца, есть, таким образом, проблема перехода некоторой рассеянной, достаточно большой массы вещества, вроде одного из галактических облаков, в уплотненное состояние. Подобных галактических облаков различных размеров и различной степени уплотнения встречается достаточно много.

Галактические облака состоят преимущественно из водорода с небольшой примесью гелия и еще меньшей — многих других элементов. Все эти вещества находятся в облаках в газообразном состоянии и в разной степени ионизации. Помимо газа, в них обычно встречаются также мелкие твердые пылинки размером порядка десятой доли микрона и больше, которые по своей общей массе составляют примерно 1% от массы данного облака. Эти пылинки, как показал Ван де Холст, имеют сравнительно низкую температуру. Вследствие непрерывных столкновений с атомами газов они оказывают сильное охлаждающее действие на все галактическое облако.

Для образования более плотных и массивных тел, таких, как звезды, необходимо соблюдение ряда условий.

Прежде всего облако должно иметь не слишком малую плотность. Для соседних с нами частей галактического пространства она должна быть не менее 10^{-22} г/см³. Температура облака должна быть достаточно низкой. В областях ионизации межзвездного газа, по соседству с горячими звездами, кинетическая температура газа может достигать до 1000° и более. Эти области непригодны для звездообразования. В более отдаленных областях неионизованного водорода температура может быть всего только порядка 100° выше абсолютного нуля и даже значительно меньше.

Если галактическое облако достаточно плотно, оно удовлетворяет условию Роша, т. е. не разлагается под приливными воздействиями центральных частей нашей Галактики и отдельных близко проходящих звезд. Постепенно охлаждаясь, при помощи вышеуказанного пылевого механизма, оно должно сжиматься и становиться более плотным. Однако его температура не повышается, пока сохраняется непосредственное

взаимодействие между отдельными атомами и твердыми пылинками.

Результат подобного сжатия нельзя предвидеть заранее. Он зависит от общего геометрического вращательного момента всей массы облака. Грубо его можно охарактеризовать, как «количество вращения», которое у компактного тела должно быть строго ограниченным для сохранения устойчивости и, следовательно, возможности его существования как индивидуального тела.

Вращательный момент сохраняется в изолированной системе с постоянной массой. Никакие внутренние силы или действия в подобной системе не могут изменить его полной величины, хотя они могут привести к его перераспределению между разными частями системы.

Знаменитый французский астроном и физик Анри Пуанкаре прочитал в 1911 году в Сорбонне курс лекций по космогоническим гипотезам, представляющих большой интерес и в настоящее время. Он дает в них математический анализ различных гипотез о происхождении солнечной системы, которые были известны в то время.

Он наглядно показывает, что для образования единого тела, вроде Солнца, вращательные моменты отдельных частиц в первоначальном рассеянном облаке по отношению к его центру должны иметь самые различные направления. Поэтому после образования единого тела они почти в точности компенсируют друг друга. Таким образом, суммарный геометрический вращательный момент, характеризующий общее вращение всего облака в целом, должен быть в колоссальное число раз меньше арифметической суммы значений всех вращательных моментов входящих в него отдельных частиц. В противном случае никакая конденсация не приведет к образованию единой звезды, которая могла бы без потери устойчивости вместить в себя этот общий вращательный момент.

И действительно, как правило, происходит образование не одной звезды, а системы их, часто двойной звезды. При этом первоначальный вращательный момент частично распределяется между обеими составляющими, но преимущественно оказывается заключенным в их орбитальном движении вокруг общего центра масс. Кроме того, часть первоначального облака остается в рассеянном состоянии. Сверх того, из уже образовавшихся ядер конденсации, молодых звезд с быстрым осевым вращением, происходит обратный выброс материи в окружающее облако, из которого они образовались.

Имеются ли в действительности газово-пылевые туманности, пригодные в условиях нашей Галактики для конденсации и для образования звезд?

Заметим, что средняя плотность вещества в межзвездной среде составляет около $5 \cdot 10^{-24}$ г/см³, и это примерно соответ-

ствует одному атому водорода в кубическом сантиметре пространства (масса атома водорода $m_H = 2 \cdot 10^{-24}$ г). В изолированных газово-пылевых облаках плотность примерно в 10 и даже в 100 раз больше. Такая плотность почти соответствует пределу Роша, необходимому для того, чтобы обеспечить возможность индивидуального существования подобных облаков. При достаточной плотности облака взаимное притяжение частиц способно противостоять разлагающему приливному действию притяжения галактического центра.

Плотность газовых туманностей оказалась в ряде случаев гораздо большей. Так, например, туманность IC 418 в созвездии Ориона содержит по крайней мере 10 тыс. атомов на кубический сантиметр, а туманность NGC 3587—всего около 100. Туманность в Орионе NGC 1976 в своей наиболее яркой части около центра содержит в кубическом сантиметре около 20 тыс. атомов, что соответствует плотности в $4 \cdot 10^{-20}$ г/см³ и примерно в 100 раз больше того, что необходимо для обеспечения беспрепятственной конденсации при условии достаточно низкой температуры.

Температура межзвездного газового вещества подробно рассматривалась в последнее время Л. Спидером и затем для больших плотностей — К. Эбертом. Из условия баланса притока и расхода энергии, обусловливаемого всеми мыслимыми источниками, оказалось, что для неионизованной области пространства температура составляет 45° по шкале Кельвина (отсчитываемая от абсолютного нуля), но может быть и несколько меньшей вследствие охлаждающего влияния космической пыли.

Таким образом, можно утверждать, что туманности, в которых плотность вполне достаточна для обеспечения образования звезд, наблюдаются в большом количестве. В их отдельных частях плотность может быть даже гораздо большей. Плотность в газовых туманностях особенно увеличивается там, где сказывается действие ударных волн, распространяющихся при вспышках неустойчивых звезд.

Можно указать также на недавно открытые объекты Аро—Гербига в области созвездия Ориона, которые имеют вид довольно плотных газовых сфер или даже напоминают звезды в процессе их образования. Прямые фотографии таких объектов, полученные в 1947 году и повторенные в 1954 году, как будто показали, что здесь имеет место возникновение новых подобных же объектов в тесной связи с уже существующими или, во всяком случае, увеличение их яркости по крайней мере в несколько десятков раз. Эти объекты по своей природе как будто находятся на границе между звездами и туманностями и не могут быть с уверенностью отнесены ни к тем, ни к другим.

Можно затем упомянуть известные темные глобулы — до-

вольно мелкие обрывки туманностей, которые сильно поглощают свет и отличаются значительной плотностью. Как было сказано Д. А. Рожковским, они распределены в пространстве не беспорядочно, а, как правило, связаны с уплотненными газово-пылевыми туманностями. Иногда глобулы более или менее сферической формы образуют целые цепочки внутри туманностей. Они, очевидно, образовались сравнительно недавно, поскольку подобные конфигурации не могут находиться в устойчивом состоянии.

Кроме того, как было показано академиком В. А. Амбарцумяном и его сотрудниками, очень активные и массивные звезды, образовавшиеся, очевидно, совсем недавно, судя по быстрому сгоранию в них водорода, входят в состав так называемых ассоциаций — разбросанных звездных скоплений, которые, насколько можно судить по исследованиям Блау и других, непрерывно расширяются из общего центра.

Этот необратимый процесс расширения позволяет оценить время, протекшее с начала их расширения из общего центра, т. е. время существования подобных ассоциаций и, тем самым, — входящих в них звезд. В некоторых случаях оно оказывается порядка нескольких сотен тысяч или немногих миллионов лет. Существование тесных звездных цепочек, все составляющие которых находятся от нас на одном и том же расстоянии и, следовательно, генетически связаны между собой, также указывает на недавнее время образования подобных неустойчивых объектов.

Можно также указать на так называемые звезды типа Т Тельца, тесно связанных с туманностями. Они представляют собой класс туманных звезд с огромными протяженными газовыми оболочками, с сильными линиями излучения водорода, принадлежащими одной из его спектральных серий — серии Бальмера, а также с линиями излучения других нейтральных и ионизованных элементов — кислорода, кремния, кальция, железа и т. д.

Непрерывный спектр у этих объектов почти отсутствует, во всяком случае он весьма слаб. Звезды типа Т Тельца представляют собой тесно связанные с светлыми или темными туманностями слабо светящиеся объекты, спектр излучения которых сильно изменяется и у которых имеются очень размытые линии поглощения. На основании спектральных данных Д. Гербиг пришел к заключению, что материал из этих звезд непрерывно выбрасывается в окружающее пространство, что может быть связано с их быстрым вращением вокруг оси. Представляется вполне возможным, что эти весьма молодые звезды являются естественным продолжением эволюционного развития объектов Аро—Гербига.

Итак, в современной галактической системе наблюдается процесс звездообразования, процесс конденсации диффузно-

го газовой-пылевой материал, получившего достаточное предварительное уплотнение. Теоретическое рассмотрение этого процесса, а затем эволюции образовавшейся звезды приводит к следующему заключению.

Дозвездная стадия конденсации, когда еще не начали действовать источники ядерных реакций и сжатие происходит исключительно гравитационным путем, протекает, как показали расчеты Е. Л. Рускол, довольно быстро. На последних стадиях такого сжатия, вследствие увеличения скорости вращения, а следовательно, и центробежной силы, может возникнуть ротационная неустойчивость и, как следствие ее, выброс вещества с поверхности звезды вблизи экватора обратно в пространство.

Ф. Хойл теоретическими расчетами показывает, что если образующаяся таким путем звезда, в частности наше Солнце, имеет заметное магнитное поле, например порядка 100 гауссов¹, и если ротационная неустойчивость наступает уже на расстоянии, равном 10 радиусам современного Солнца, то отделившееся вещество под воздействием магнитного поля отодвигается до современных пределов солнечной системы, а вращение Солнца одновременно сильно тормозится. Аналогичные соображения о роли магнитного поля на первых стадиях существования солнечной системы развивал Альфвен.

Как бы то ни было, но в результате сжатия первоначального облака в конце концов возникает достаточно уплотненная звезда, в которой начинают действовать ядерные реакции. Звезда начинает светиться. В соответствии с ее физическими характеристиками она может быть помещена в некоторую точку на кривой главной последовательности диаграммы Герцшпрунга—Рессела.

Если масса звезды достаточно велика, например раз в 10 больше солнечной, то звезда помещается в верхней части главной последовательности. Такая звезда отличается большой яркостью и вместе с тем быстрым вращением. Она выбрасывает материю со своей поверхности, постепенно замедляя скорость вращения. Эволюция звезды определяется при этом постепенным уменьшением в ней содержания водорода, служащего ядерным «горючим».

Пока звезда достаточной массы остается на кривой главной последовательности, у нее может выгореть около половины всего содержащегося в ней водорода и даже больше. Несмотря на это, подобная звезда остается в этой стадии лишь миллионы лет. Напротив того, при незначительной массе расход водорода составляет не свыше десятка процентов, но его выгорание продолжается миллиарды лет. Это и понятно: чем больше масса звезды, тем больше энергии она расходует на лучеиспускание, тем быстрее выгорает в ней водород. Так, на

¹ Гаусс — единица магнитной индукции.

пример, звезда с массой в 10 раз больше солнечной расходует энергии на лучеиспускание примерно в 10 тыс. раз больше, чем Солнце. Следовательно, вся ее эволюция протекает гораздо быстрее. Все эти расчеты были сделаны в предположении, что во время эволюции масса звезды остается по существу постоянной.

Если допустить наличие корпускулярного излучения, т. е. выброс вещества звездой не только на первой стадии развития, но и в течение всей ее эволюции и притом пропорционально ее светимости, то звезда должна двигаться вдоль кривой главной последовательности все время, вплоть до перехода в разряд красных карликов. Наконец, она может превратиться и в белого карлика, представляющего, по-видимому, последнюю стадию существования звезды в виде необычайно уплотненной материи в вырожденном состоянии.

Если принять, в согласии с М. Шварцшильдом, что большинство звезд действительно достигает стадии белых карликов, то неизбежно следует заключение о реальности значительной потери ими массы в течение их эволюции. В самом деле, белые карлики очень распространены в нашей Галактике и встречаются в значительном количестве даже в ближайших окрестностях Солнца.

Белые карлики — небольшие и чрезвычайно уплотненные звезды, излучающие непрерывный спектр. Например, типичный белый карлик, открытый одним из первых, спутник Сириуса, представляет звезду с массой, несколько меньшей массы Солнца, но с плотностью примерно в 20 тыс. раз большей, чем плотность воды. Радиус этой звезды примерно такой же, как и нашей Земли, несмотря на огромное различие в массах.

Несомненно, что количество белых карликов во всей Галактике огромно, так как вследствие малой светимости они доступны для наблюдений только в очень малом объеме пространства и все же известны в большом количестве. В то же время исключительно яркие гиганты видны на огромных расстояниях и, хотя наблюдаются в большом количестве, по существу должны быть весьма редки.

Вращательный момент белых карликов должен быть ничтожно мал вследствие их чрезвычайно малых линейных размеров. Если они представляют конечный продукт эволюции обычных звезд, как это принимается теперь, то налицо уменьшение вращательного момента, а следовательно, и их массы, и притом в большое число раз. С этим согласуется также то обстоятельство, что обычные красные карлики, находящиеся в нижней части главной последовательности, часто оказываются неустойчивыми и выбрасывают материю в пространство путем какого-то механизма еще неизвестной природы.

Кроме того, следует вывести заключение, что возраст белых карликов, как последнего этапа звездной эволюции, про-

текавшей к тому же очень медленно, должен быть весьма велик. По мнению Гринстейна, отсюда вытекает то важное заключение, что наше Солнце, хотя принадлежащее к числу старых звезд, все же несравненно моложе белых карликов и потому образовалось долгое время спустя после зарождения всей нашей галактической системы — Млечного Пути.

Итак, следует считать наиболее вероятным, что каждая звезда большую часть своего эволюционного развития проходит вдоль кривой главной последовательности, постепенно теряя свою массу и замедляя скорость вращения. Потерянное звездой вещество поступает обратно в межзвездное пространство и, постепенно накапливаясь, пополняет галактические туманности. Оно служит для поддержания процесса звездообразования. Вновь образующиеся звезды могут быть различных масс и, следовательно, могут начинать свой эволюционный путь с различных точек кривой главной последовательности.

Мы не можем, однако, сказать вполне определенно, откуда начинало свою эволюцию наше Солнце, образовавшееся, как звезда, с относительно большей массой и более быстрым вращением вокруг своей оси, чем это имеет место сейчас. Однако не подлежит сомнению, что значительная часть вещества первоначального сгущения должна была остаться в виде рассеянной материи, только более уплотненной по сравнению с ее исходным состоянием.

Подобное дозвездное состояние Солнца может служить отправным пунктом для построения космогонических соображений о происхождении тел нашей солнечной системы.

ПРОИСХОЖДЕНИЕ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

Остается сделать некоторые заключения относительно возможного происхождения планет солнечной системы.

Как уже указывалось, планеты должны были сформироваться примерно в одно время с Солнцем из некоторого протопланетного облака, оставшегося за пределами центрального сгущения, из которого образовалось Солнце. Это облако пополнилось также материей, выброшенной обратно из первичного Солнца вскоре после его образования.

При таком процессе обеспечивается не только примерно одинаковый химический состав Солнца и планет, но и приблизительное совпадение общей плоскости планетных движений с солнечным экватором.

С другой стороны, невозможно допустить, чтобы протопланетное облако было при каких-то обстоятельствах захвачено Солнцем при его прохождении через газово-пылевую туманность.

В случае тесного сближения трех материальных точек может случиться, что при некотором специальном распределе-

нии их координат и скоростей одна материальная точка получит приращение кинетической энергии и будет отброшена с повышенной скоростью, а другая, наоборот, потеряет свою кинетическую энергию и окажется связанной с третьей точкой. Тогда эти последние две точки образуют двойную систему.

Вероятность подобного захвата чрезвычайно мала даже в случае трех материальных точек. Захват невозможен в случае встречи Солнца с протяженным облаком, состоящим не только из газа, но и пылевых частиц различных размеров, так как на различные составляющие этого облака гравитационные силы Солнца, его радиация, наконец, связанное с Солнцем магнитное поле действуют совершенно по-разному.

Во всяком случае, подобный механизм захвата должен был проявляться селективно, т. е. воздействовал бы не одинаково на различные частицы. Поэтому, вообще говоря, химический состав захваченного облака, если все же допустить осуществление подобного невероятного захвата, сильно отличался бы от химического состава Солнца. Наконец, в этом случае, очевидно, не могло бы существовать никакой связи между плоскостью солнечного экватора и общей плоскостью планетных движений.

Кроме того, как указывалось выше, средняя плотность межзвездной среды составляет около 10^{-24} г/см³. Плотность протопланетного облака, необходимая для образования планет, должна быть порядка 10^{-6} г/см³. Подобное колоссальное уплотнение совершенно невозможно в процессе захвата, который с космогонической точки зрения происходит практически мгновенно. При образовании же Солнца процесс уплотнения рассеянной среды происходит постепенно, поэтому в нем могут быть достигнуты плотности, необходимые для образования планет.

Идея о возможности захвата Солнцем протопланетного облака высказывалась академиком О. Ю. Шмидтом и другими, очевидно, для объяснения существования большого вращательного момента системы планет по сравнению с вращательным моментом Солнца или, другими словами, для объяснения огромных размеров солнечной системы. Однако, как уже указывалось выше, это объясняется несравненно более просто самим механизмом образования Солнца из сравнительно обширного облака.

Процесс конденсации газово-пылевого сгущения, которое мы будем называть глобулой, можно проследить более детально. Различные части глобулы должны располагаться тем дальше от ее центра, чем больше их вращательный момент. Следовательно, одни части глобулы, обладающие меньшим вращательным моментом, перемещаются к центру, другие, обладающие большим вращательным моментом, — к периферии. Значит, они взаимодействуют между собой.

Существующие планеты могли никогда не быть составной частью самого Солнца, а образовались из различных частей той же глобулы, предварительно уплотненной в процессе охлаждения и конденсации. Таким образом, нельзя ожидать полного совпадения общей плоскости планетных движений с плоскостью солнечного экватора.

Только внутренние части первоначальной конденсации повели к образованию Солнца. Внешние же ее части должны были пойти на образование внешних планет. Поэтому внешние планеты обладают большим вращательным моментом.

Более тщательное рассмотрение особенностей различных тел солнечной системы заставляет прийти к заключению, что механизм их образования был довольно сложным. Внешние планеты, представителем которых является Юпитер, могли образоваться так же, как обычно образуются звезды. При достаточно большой плотности, превосходящей значение, определяемое пределом Роша, т. е. порядка 10^{-6} г/см³, и при сравнительно низкой температуре должны были возникать планетные сгущения, представляющие просто газовые шары.

Образующиеся планетные сгущения должны были противостоять не только приливному воздействию Солнца, но и ближайшей, уже образовавшейся планеты. Поэтому они образовывались на таких расстояниях друг от друга, на которых действие дополнительных приливных сил на каждую из планет было бы наименьшим. В этом случае планета сохраняется как целое, не разрушается приливными силами. Этим определена закономерность расстояний планет от Солнца, которая может быть обоснована теоретически.

Итак, процесс образования больших планет принципиально не отличается от процесса образования звезд. Однако образование планет происходит в несравненно более плотной среде и по соседству с таким мощным притягивающим телом, как Солнце, или, по крайней мере, уплотненное центральное ядро, из которого оно впоследствии образуется.

Наряду с подобным макропроцессом в протопланетном облаке могли иметь место также и микропроцессы, т. е. столкновения мелких телец вплоть до пылинок, сопровождающиеся потерей их кинетической энергии. Такие микропроцессы не играли заметной роли во внешних частях солнечной системы, где образовывались большие планеты, так как здесь были сосредоточены преимущественно легкие газы и почти не было твердых частиц. Действительно, наиболее обильные и легкие газы — водород и гелий — в условиях нашей Галактики никогда не могли образовать твердые пылинки. Они всегда оставались в газообразном состоянии. Температура туманности, из которой образовалась солнечная система, никогда не могла быть ниже температуры наиболее холодных частей нашей Галактики, внутри которой она была расположена. А эта ми-

нимальная температура, как было указано ранее, выше температуры замерзания водорода, а тем более гелия.

В отношении планет земного типа, по-видимому, оба процесса — макропроцесс и микропроцесс — играли существенную роль. Вначале могла происходить конденсация вещества, из которого впоследствии образовалась Земля как одно целое. Этот сгусток вещества отделился от протопланетного облака в результате действия механизма гравитационной неустойчивости в газовой-пылевой облаке, из которого уже выделились более далекие планеты. В этот процесс могла быть вовлечена несравненно бóльшая масса, чем масса современной Земли. Она содержала много легких газов, прежде всего водорода, а также много более тяжелых элементов, вошедших в различные более или менее сложные соединения.

Если в весьма рассеянной газовой среде межзвездного пространства все же образуются элементарные молекулярные соединения и даже твердые пылинки (судя по производимому ими поглощению, не очень малых размеров), то тем более можно ожидать образования достаточно сложных молекулярных соединений в гораздо более плотной и нагретой среде, какой являлась рассеянная среда вокруг первоначального Солнца!

Конденсируясь в компактное тело все большей плотности и постепенно разогреваясь за счет уменьшения потенциальной энергии, первичная Земля благодаря высокой температуре должна была сейчас же терять свою протяженную атмосферу, состоявшую преимущественно из легких газов, в частности водорода.

Действительно, если считать, что первоначальное обилие водорода в протопланетном облаке до некоторой степени соответствовало его обилию в космосе вообще, то неизбежно следует прийти к заключению, что от массы первичной Земли в теперешнем ее состоянии осталась лишь незначительная доля, составляющая, быть может, несколько процентов первоначальной массы.

Второе доказательство значительной потери массы первоначальной Земли можно видеть в самом факте существования Луны. Не подлежит сомнению, что система Земля—Луна занимает в нашей солнечной системе особое положение. В настоящее время вращательный момент Луны в ее орбитальном движении составляет 75% вращательного момента всей системы Земля—Луна. Это иллюстрирует важное значение Луны для динамики системы Земля—Луна.

В системах спутников других планет мы не находим ничего подобного. Если, например, вычислить общий вращательный момент Юпитера, исходя из найденного внутреннего распределения плотностей и известного периода вращения, и сравнить его с суммой моментов вращения галилеевых спут-

ников Юпитера, то найдем, что сумма вращательных моментов для этих спутников составляет не более 1,5% вращательного момента самой планеты.

Огромная величина вращательного орбитального момента Луны по сравнению с вращательным моментом Земли делает достаточно очевидным то, что наша Земля возникла первоначально именно как двойная планета, в отличие от других планет солнечной системы, и поэтому процесс ее образования должен быть в большой степени аналогичным процессу образования двойной звезды.

Двойная звезда образуется из двух тесных центров конденсации в одном и том же первоначальном уплотняющемся газово-пылевом облаке, у которого, как это обычно бывает, общий вращательный момент оказывается слишком большим для возможности возникновения единственного устойчивого ядра. Этот вращательный момент должен поэтому по необходимости распределиться между двумя, а в некоторых случаях даже и большим числом отдельных конденсаций.

То же самое можно предположить и в случае нашей Земли. Таким образом, смысл существования нашего спутника заключается в том, что Луна при своем возникновении взяла на себя наиболее значительную часть общего вращательного момента и тем самым обеспечила устойчивость возникающей Земле. Без этого земная протопланета никогда не могла бы отвердеть как единое тело.

Дальнейшая эволюция системы Земля—Луна пошла по пути значительного уменьшения запаса ее вращательного момента. В настоящее время к Земле уже можно было бы присоединить весь вращательный момент, связанный с орбитальным движением Луны, без нарушения устойчивости земного шара. Действительно, при таком присоединении вращательного момента скорость вращения увеличится, период вращения Земли сократится до 4,4 часа, в то время как для нарушения устойчивости он должен составлять примерно 1,3 часа. Уменьшение вращательного момента может произойти только при уменьшении массы.

На основании рассмотренных фактов можно сделать заключение, что наша Земля при своем образовании потеряла значительную часть первоначальной массы. Этим объясняется известное несоответствие в распределении различных элементов между Землей и Солнцем, несмотря на то, что оба тела должны были произойти из одной и той же среды.

Основными факторами, определяющими потерю массы протопланетой, являются ее температура и первоначальная масса. Это отчетливо выявляется при сравнении различных планет. Наиболее массивный Юпитер с массой, в 318 раз превосходящей земную, состоит на 85% из водорода, на 10% из ге-

лия и примерно на 5% из других более тяжелых газов, представляя в этом отношении наибольшее сходство с Солнцем.

В атмосфере Урана водород стоит уже на втором месте по сравнению с гелием, а в поверхностных слоях Земли — на восьмом-десятом, но все же в количестве, достаточном для образования океанских вод. И, наконец, на Марсе, масса которого почти в 10 раз меньше земной, содержание водорода настолько мало, что на этой планете нет и, по всей вероятности, никогда не было сколько-нибудь значительного количества воды. В настоящее время эквивалентный слой воды на поверхности и в атмосфере Марса равен примерно 0,1 мм.

Можно также объяснить наблюдаемую закономерность в расстояниях планет земного типа от Солнца. Для этого следует определить, на каком расстоянии друг от друга могут образовываться эти планеты, с тем, чтобы их взаимные приливные воздействия в соединении с неоднородностью гравитационного поля Солнца не мешали им сохранять устойчивость.

Соответствующее условие аналогично условию, указанному Рошем для случая двух гравитирующих тел. При этом, однако, нужно допустить, что массы планет земного типа в период их образования были примерно в 30 раз больше, чем в настоящее время, т. е. что современные планеты представляют по существу лишь ядра первичных планет.

Если, однако, масса Солнца в прошлом была в несколько раз больше, то размеры всей планетной системы должны быть во столько же раз меньше. Но тогда приливные силы, которые изменяются обратно пропорционально кубу расстояния, должны быть во много раз больше.

Если, например, масса Солнца была в эпоху образования солнечной системы всего лишь в 2 раза больше современной, то взаимные расстояния между планетными орбитами были вдвое меньше современных, а приливные силы взаимодействий в 8 раз больше. В таком случае для обеспечения надлежащего размещения планет по расстояниям вовсе не потребуются больших первоначальных масс планет.

Естественно предположить, что сначала происходило образование планет, наиболее удаленных от Солнца, а затем более близких к Солнцу. Внешние планеты должны были образоваться из более элементарной газовой-пылевой среды. Внутренние планеты, возникшие после них, нашли уже среду, обогащенную разными минеральными соединениями в форме, быть может, более или менее крупных агрегатов твердых частиц, носящихся в разреженном газе.

Изучение вещества метеоритов показывает всю сложность проблемы образования планет солнечной системы, именно планет земного типа и астероидов. Как указывалось выше, метеориты представляют обломки астероидов, и с точки зрения их происхождения между теми и другими нет никакой разницы

Очень крупный метеорит и сейчас может быть назван по праву маленьким астероидом, если только его можно наблюдать как индивидуальное тело, хотя бы ничтожно малой яркости, видимое в межпланетном пространстве.

Строение метеоритов чрезвычайно сложно. В некоторых метеоритах встречаются алмазы. Значит, они образовались при больших давлениях и высоких температурах, ибо известно, что алмаз есть необратимая разновидность углерода, возникающая только при указанных условиях. Вещество подобных метеоритов должно было образоваться внутри достаточно крупных астероидов.

Железо-никелевые метеориты отличаются кристаллическим строением, которое могло возникнуть при условии, что они в течение продолжительного времени находились при температурах порядка $600-800^{\circ}$ Цельсия и также при сравнительно высоких давлениях.

Встречаются и так называемые полимиктовые брекчиевые метеориты, состоящие из множества разнородных обломков, принадлежащих метеоритам разных типов, которые, очевидно, должны были возникнуть сначала независимо внутри каких-то тел. Эти объединения разнородных метеоритов некогда выделились из некоторой массы более крупных размеров.

Из всего этого можно сделать лишь то заключение, что в первоначальной среде, послужившей для образования планет, происходили весьма сложные процессы образования минералов, объединения их в более крупные тела, которые затем распадались, по всей вероятности, путем дробления и давали осколки. Эти осколки затем снова объединялись и образовывали уже современные астероиды, которые снова дробились и продолжают дробиться до сих пор, порождая метеориты.

В недавнее время Донн и Юри рассмотрели в общих чертах процессы образования подобных первичных и вторичных астероидальных тел солнечной системы, сопровождающиеся выделением довольно значительной химической энергии.

Итак, протопланетное облако должно было получить ко времени выделения из него планет весьма сложную структуру. Оно должно было иметь довольно сплюснутую форму. Его плоскость располагалась почти в плоскости солнечного экватора. Поэтому направление общего вращательного момента облака приблизительно совпадало с направлением вращательного момента Солнца. Уже одно это предопределяет примерное совпадение плоскостей планетных орбит.

Во внешних частях этого облака были сосредоточены преимущественно легкие газы с небольшим включением тяжелых соединений. В средней его части, где произошло образование наиболее массивной планеты — Юпитера, количество газовой материи было наибольшим. Во внутренних областях протопланетного облака ко времени образования планет зем-

ного типа успело появиться много отдельных кусков минералов. Эти минералы двигались в среде газа и также образовывали конденсации. Некоторые из них благодаря своему удачному расположению оказались сравнительно мало подверженными возмущающим приливным влияниям, поэтому смогли выжить и быстро развиться в крупные тела. Позже эти крупные тела — протопланеты потеряли свои протяженные атмосферы.

Если принять, что химический состав всех планет солнечной системы был одинаковым, что, вероятно, имело место в первую стадию их существования, то, исходя из условия устойчивости, можно получить следующую закономерность в их распределении по расстояниям от Солнца. При этом распределение масс принято несколько сглаженным.

Как уже упоминалось, сначала должен был образоваться наиболее отдаленный от Солнца Плутон — планета небольшой массы. Образование следующей планеты — Нептуна должно было удовлетворить условию приливной устойчивости по отношению к Солнцу, а также по отношению к уже существующей планете — Плутону. Следовательно, Нептун мог сформироваться только на достаточно безопасном для себя расстоянии от этой планеты, и этим был определен первый интервал между планетами. Образование следующей планеты — Урана могло произойти только на достаточно большом расстоянии от Нептуна, и так далее.

Планеты	Расстояние от Солнца (в единицах расстояния Земля — Солнце)	
	наблюдаемое	вычисленное
Меркурий	0,39	0,43
Венера	0,72	0,64
Земля	1,0	0,98
Марс	1,52	1,55
Астероиды	—	2,65
Юпитер	5,2	5,2
Сатурн	9,5	11,0
Уран	19,2	19,6
Нептун	30,1	29,0
Плутон	39,5	40,0

Отсюда понятно, почему между орбитами больших планет, таких, как Юпитер и Сатурн, относительные интервалы весьма велики — наибольшие в солнечной системе. Эти интервалы суживаются для наружных и для внутренних областей солнечной системы. Это связано именно с тем, что планетные массы уменьшаются как внутрь, по мере приближения к

Солнцу, так и наружу. Эти соотношения и отражены в приведенной выше таблице.

Найти планетные массы чисто теоретическим путем не представляется возможным. Можно только предположить, что в центральной части планетного облака, слабо прогреваемого солнечным излучением, создались условия, наиболее благоприятные для образования самых массивных планет.

Для определения периода вращения планеты вокруг оси при заданной ее массе и расстоянии от Солнца нужно принять во внимание следующее. Образовавшееся планетное сгущение объединило в себе массу, распределенную почти вдоль всей окружности планетной орбиты. Кроме того, угловые скорости обращения образовавших планету частиц вокруг центра протопланетного облака были значительно выравнены благодаря их взаимодействию между собой, в особенности благодаря их перемешиванию. Тогда получается, что количество вращения образующейся планеты пропорционально массе, умноженной на квадратный корень из ее расстояния от Солнца.

И здесь получается тесная аналогия со звездами. Массивные звезды имеют наибольший запас вращения и вращаются вокруг оси с наибольшей скоростью. Для солнечной системы также оказывается, что более массивные планеты должны вращаться вокруг своей оси быстрее, чем менее массивные, что и наблюдается в действительности.

Таким образом, можно прийти к заключению, что образование планет есть определенный закономерный процесс, широко распространенный в природе, и что планеты образовались из вещества, тесно связанного с первичным Солнцем, без всякого вмешательства внешних сил. В настоящее время с полной определенностью выясняется, что зарождение планет связано с образованием звезд и представляет одну из сторон общего процесса образования звездных систем.

Тем не менее процесс образования планет отличается большой сложностью и не может быть представлен какой-либо одной схемой, как это до сих пор пытались делать авторы различных космогонических гипотез. В частности, говоря о происхождении метеоритов и вместе с тем породивших их астероидов, мы уже видели, что в солнечной системе должны были неоднократно происходить агломерация (соединение) и распад астероидальных тел.

Системы спутников планет также говорят о большой сложности процессов, происходящих на первых этапах существования солнечной системы. Большие планеты — Юпитер и Сатурн — имеют большое число спутников. Более массивные и более близкие из них расположены в одной и той же плоскости — в экваториальной плоскости планеты и вращаются в том же направлении, в котором вращается сама планета. Дру-

гие — очень мелкие и более отдаленные — движутся по орбитам, наклоненным к плоскости экватора планеты. Одни движутся в прямом направлении, другие — в обратном.

Эта вторая группа, так называемые нерегулярные спутники, должна была иметь совсем другое происхождение. Нерегулярные спутники — это, по-видимому, просто небольшие астероиды, захваченные первоначальной весьма протяженной атмосферой только что образовавшейся большой планеты.

Из двух небольших спутников Марса один — Фобос — находится очень близко от планеты и обращается вокруг нее значительно скорее, чем она вращается вокруг оси. Поэтому под действием приливных сил планеты он должен будет в конце концов упасть на ее поверхность. В прошлом Фобос находился на несколько большем расстоянии от нее. Он должен также представлять собой небольшой астероид, захваченный в первичную эпоху. Тот факт, что Фобос до сих пор еще не упал на поверхность Марса, несмотря на столь длительное время своего существования, показывает, что приливные силы на Марсе крайне малы. А это свидетельствует о том, что на указанной планете никогда не могло быть водных бассейнов, ни глубоких, ни в особенности мелких, способных обеспечить большое приливное трение, как это наблюдается на Земле.

Система спутников Урана такова, что плоскость их движения составляет почти прямой угол с плоскостью движения самой планеты вокруг Солнца. Плоскость экватора планеты также составляет почти прямой угол с плоскостью ее движения.

Спутник Нептуна — Тритон представляет собой довольно массивное тело и вращается в обратном направлении, в то время как вращение самой планеты прямое. Самая внешняя планета солнечной системы Плутон — небольшой величины и мало походит на планеты внешней группы. Плутон движется по весьма вытянутой эллиптической орбите, почти пересекающей орбиту Нептуна, и, по мнению некоторых, является его вторым спутником, потерявшим с ним гравитационные связи, что могло произойти при уменьшении массы планеты.

Все это указывает на огромное разнообразие процессов, происходивших уже на самых первых стадиях существования солнечной системы и сопровождавших самое образование планет. Здесь и столкновения, и захват в среде, оказывающей сопротивление движению и связанной с самими планетами, и, напротив того, ослабление гравитационных связей, и регулярное образование спутников. Рассматривать, как могли произойти все эти тела солнечной системы, какие события в каждом отдельном случае могли иметь место, в настоящее время не представляется возможным.

Теперь следует сказать несколько слов относительно происхождения регулярных спутников больших планет.

Начнем с кольца Сатурна, открытого еще Гюйгенсом в

конце XVII столетия. Оно состоит из множества мелких частиц, которые располагаются в одной плоскости, совпадающей с экватором планеты. Кольцо настолько тонко, что при прохождении Земли через его плоскость оно становится совершенно невидимым. Если бы частицы кольца двигались по орбитам, хотя бы слегка вытянутым, имеющим небольшую эллиптичность и пересекающимся между собой, то они вследствие взаимных столкновений быстро затормозились бы и выпали на планету. То же самое произошло бы, если их движение происходило в различных пересекающихся между собой плоскостях.

Кольцо разделяется несколькими прогалинами, соответствующими тем расстояниям от планеты, где периоды обращения частиц находятся в простых соотношениях с периодами обращений главных спутников и где, вследствие этого, становятся чрезвычайно сильными производимые спутниками возмущения. Орбита частицы, претерпевшая возмущение, перестает быть строго круговой. Двигаясь по эллипсам, частицы начинают сталкиваться с соседними частицами. Происходит потеря скорости частиц и выпадение их на планету.

Согласно недавним исследованиям Г. Кейпера, частицы кольца Сатурна состоят из замерзших веществ, в значительной мере, быть может, из обычной замерзшей воды.

В современной атмосфере Сатурна и вообще внешних планет плавают облака, состоящие из замерзшего аммиака, частично метана, особенно воды, с примесью других элементов. Подобные скопления твердых частиц особенно развиты в экваториальной зоне этих планет.

Теперь представим себе, что масса планеты быстро уменьшилась вследствие потери легких газов. Если движение твердых частиц почти уравнивалось центробежной силой, возникающей при быстром вращении планеты вокруг оси, то при потере массы планеты, а следовательно, и уменьшении ее притяжения, твердые частицы могут оказаться выброшенными за пределы ее атмосферы. Часть их в результате взаимных столкновений и потери скорости выпадает обратно на планету. Орбиты же остальных частиц преобразуются в круговые, расположенные точно в плоскости экватора. Таким путем возникает кольцо.

Все частицы, образующие кольцо Сатурна, расположены к планете ближе предела Роша. В этой области неоднородности гравитационного поля, вследствие близости планеты, создается различие в силе притяжения на различные частицы кольца, превышающее взаимное притяжение между частицами. Следовательно, такое кольцо должно оставаться в распыленном состоянии, без конденсаций. Если же подобное кольцо образуется за пределом Роша, т. е. на более значительном расстоянии от планеты, то составляющие его частицы с неизбежностью в конце концов сконденсируются в единое те-

ло и образуют небольшой спутник, обращающийся вокруг планеты по круговой орбите точно в плоскости ее экватора. Это может произойти и с кольцом Сатурна в случае потери планетой массы, когда из-за уменьшения притяжения предел Роша сократится, а с другой стороны, кольцо окажется отодвинутым от планеты на большее расстояние.

Мы уже видели, что еще в допланетной стадии во внутренних областях солнечной системы должны были появиться довольно сложные минеральные образования, давшие начало первичным астероидам. Можно, по-видимому, допустить, что и в сравнительно уплотненных протопланетных сгущениях тоже возникали подобные небольшие твердые образования, которые при потере легких газов образовавшейся планетой, а следовательно, при уменьшении ее массы и притяжения, отходили на большее расстояние и в конечном счете образовали так называемые нормальные спутники.

В общем процесс образования нормальных спутников был, по-видимому, в миниатюре повторением образования планет земного типа или астероидов. Это подтверждается тем, что те же самые теоретические соображения, основанные на применении формулы Роша, дают возможность, как показал Г. М. Идлис, получить правильную закономерность в распределении расстояний этих спутников от планет.

В заключение отметим, что хотя проблема происхождения планетной системы чрезвычайно сложна, современные успехи астрономии и физики позволяют уверенно наметить основные черты ее решения.

В дальнейшем предстоит еще большая работа по выяснению многих деталей рассматриваемого вопроса. Успех решения задачи о происхождении тел солнечной системы будет целиком зависеть от получения новых данных об их природе и правильного теоретического истолкования этих данных

ЛИТЕРАТУРА

- Барабашов Н. П.** Борьба с идеализмом в области космогонических и космологических гипотез Харьков, 1952, стр. 120.
- Барабашов Н. П.** О происхождении Земли и других небесных тел. М., Госкультпросветиздат, 1955, стр. 108.
- Воронцов-Вельяминов Б. А.** Вселенная (Сборник естественно-научных лекций). М., 1947, стр. 488.
- Воронцов-Вельяминов Б. А.** Очерки о Вселенной. М., Гостехиздат, 1951; изд. 1952; изд. 1955.
- Вселенная.** Сборник. М., Госкультпросветиздат, 1955, стр. 408.
- Гуревич Л. Э. и Лебединский А. И.** Об образовании планет. «Известия АН СССР, серия физическая», т. 14, № 6, 1950, стр. 765—799.
- Крат В. А.** Происхождение солнечной системы. «Известия Главной астрономической обсерватории», т. 20, вып. 3, 1956, стр. 1—15.
- Левин Б. Ю.** Некоторые вопросы развития, строения и состава Земли. «Известия АН СССР, серия геофизическая», № 4, 1953, стр. 289—306.
- Опарин А. И. и Фесенков В. Г.** Жизнь во Вселенной. М., изд-во АН СССР, 1956, стр. 224
- Панов Д. Г.** Проблема происхождения материков и океанов в свете новых исследований. Журнал «Природа» № 3, 1950, стр. 10—24.
- Фесенков В. Г.** Происхождение и развитие небесных тел по современным данным Изд-во АН СССР, 1953, стр. 64.
- Фесенков В. Г.** Современные представления о Вселенной. М.—Л., изд-во АН СССР, 1949, стр. 260.
- Шмидт О. Ю.** Четыре лекции о теории происхождения Земли. М.—Л., изд-во АН СССР, изд. 1-е, 1949; изд. 2-е, 1950; изд. 3-е, 1957.

КИНОФИЛЬМЫ

- «**Вселенная**». Производство Ленинградской киностудии научно-популярных фильмов, 1951 г. Автор сценария А. Сазонов. Режиссеры — Н. Дешенко, П. Клушанцев.
Фильм о строении Вселенной и ее развитии; знакомит с различными небесными телами, строением солнечной системы.
- «**Метеориты**». Производство Ленинградской киностудии научно-популярных фильмов, 1947 г. Автор сценария и режиссер П. Клушанцев.
Фильм о небесных камнях — метеоритах, об их происхождении и причинах падения на Землю.
- «**Спутник над планетой**». Производство Центральной студии документальных фильмов, 1957 г. Режиссер З. Фомина.
Фильм рассказывает о запуске в Советском Союзе первого в мире искусственного спутника Земли.
- «**Первые советские спутники Земли**». Производство Центральной студии документальных фильмов и Московской киностудии научно-популярных фильмов, 1957 г. Автор сценария А. Сазонов. Режиссеры — Н. Чигорин, М. Славинская.
Фильм посвящен запуску первых искусственных спутников Земли, положивших начало осуществлению дерзновенной мечты человечества о покорении космоса.
- «**Я был спутником Солнца**». Производство Московской киностудии научно-популярных фильмов, 1959 г. Авторы сценария — В. Капитановский, В. Шрейберг. Режиссер В. Моргенштерн.

Научно-фантастический фильм о создании учеными и инженерами, после изучения результатов наблюдения над искусственными спутниками Земли, первой искусственной планеты солнечной системы. Наряду с фантастикой, фильм содержит интересный познавательный материал об исследовании и завоевании космоса.

«**Четвероногие астронавты**». Производство Московской киностудии научно-популярных фильмов, 1959 г. Автор сценария П. Исаков. Режиссер Н. Тихонов

Фильм рассказывает о большой работе советских ученых над проблемой полета человека в космос. Для подготовки этих полетов проводятся опыты с «четвероногими астронавтами». Опыты ученых над собаками помогают накапливать новые научные данные, необходимые для воплощения многовековой мечты человечества о полетах на другие планеты.

«**Алерт**». Производство Московской киностудии научно-популярных фильмов, 1959 г. Автор сценария А. Гладков. Режиссер Б. Ляховский.

Фильм посвящен исследованиям, проведенным учеными всего мира по программе Международного геофизического года. В фильм включены кадры, показывающие запуск искусственных спутников Земли в СССР и США. Центральным эпизодом фильма является «Алерт» — аврал ученых всего мира, ведущих наблюдения в связи со вспышками на Солнце.

ДИАФИЛЬМЫ

«**Как наука о природе опровергает религию**». Производство студии «Диафильм», 1959 г. Составитель И. Шевляков.

Религиозным толкованиям явлений природы в диафильме противопоставляются строго научные данные о возникновении солнечной системы и развитии жизни на Земле. Показом искусственных спутников, созданных современной советской наукой, подчеркивается полная беспочвенность религиозных представлений о мире.

«**Мир звезд**». Производство студии «Диафильм», 1958 г. Автор И. Ф. Шевляков.

Опровергая религиозное представление о Земле как о неподвижном центре мироздания с твердым небом и звездами, диафильм показывает, как современная наука определила истинное строение Вселенной.

«**Небесные камни — метеориты**». Производство студии «Диафильм», 1959 г. Автор Я. К. Голованов. Консультант В. А. Бронштэн.

В диафильме научно обосновывается природа метеоритов, разоблачается религиозное представление о метеоритах как «исполнении божьей воли». Диафильм показывает работу советских ученых и специалистов по розыску и изучению метеоритов, упавших на Землю, по исследованию метеорных потоков в атмосфере; раскрывает современные достижения науки, дающие возможность изучать направление движения метеоритов и силу их ударов, что особенно важно знать в связи с предстоящими полетами человека в космос.

«**Закон всемирного тяготения**». Производство студии «Диафильм», 1958 г. Составил И. Шевляков. Консультант профессор М. Набоков.

В фильме приведена схема построения мира по учению Н. Коперника, рассказывается о сущности каждого из трех законов астронома Кеплера, о математических данных, позволяющих точно определить орбиты планет солнечной системы. В диафильме показаны схемы движения Земли с ее спутником Луной, даются сравнительные данные взаимопритяжения планет и т. д.

В диафильме показан запуск советских искусственных спутников Земли.

УВАЖАЕМЫЕ ТОВАРИЩИ ЧИТАТЕЛИ

ПОДПИСНЫХ БРОШЮР-ЛЕКЦИЙ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ЗНАНИЕ»!

В новом 1960 году издательство «Знание» выпускает по подписке 12 серий, 324 брошюры-лекции. Идя навстречу пожеланиям читателей, начат выпуск двух новых серий: педагогической и «Библиотечки сельского лектора».

Брошюры-лекции предназначаются для лекторов, пропагандистов-агитаторов, специалистов в различных отраслях народного хозяйства, а также для лиц, занимающихся самообразованием без отрыва от своей производственной работы.

Основной задачей брошюр-лекций является пропаганда внутренней и внешней политики Коммунистической партии Советского Союза и Советского правительства, помощь партии в мобилизации масс на успешное претворение в жизнь исторических решений XXI съезда КПСС и Пленумов ЦК КПСС; ознакомление читателей с новейшими достижениями в различных областях науки и техники; освещение важнейших событий международной жизни, рабочего, коммунистического, национально-освободительного и демократического движений в разных странах мира.

Девятая серия — по вопросам физики и химии — включает в себя в основном брошюры по физике и химии, а также по астрономии, геологии и географии.

Основная задача серии — пропагандировать великие достижения и открытия науки в целях использования их в трудовой деятельности советских людей, воспитания материалистического мировоззрения.

Большое место в серии займут брошюры, освещающие такие важнейшие проблемы современной физики, как управление термоядерными реакциями, мирное использование атомной энергии, физика ядерных реакторов, развитие представлений о структуре атомного ядра, радиоэлектроника, космические лучи, сверхнизкие температуры, электронно-вычислительные устройства и др.

Учитывая большой интерес советских людей к вопросам геофизики и физических методов исследования космических пространств, будут изданы брошюры о ракетах, запущенных на Луну и вокруг Луны, космическом радионизлучении, использовании радиоэлектроники в исследовании космоса, магнитных полей и др. Ряд брошюр познакомит читателей с итогами Международного геофизического года.

Несколько брошюр будет посвящено расширяющимся международным связям советских ученых, жизни и творческой деятельности выдающихся отечественных и зарубежных физиков в связи с юбилейными датами.

По разделу химии будут выпущены брошюры, отражающие важнейшие направления прогресса химической науки. Среди них будут брошюры о полимерах, радиохимии, применении катализаторов в химической технологии и др.

Брошюры по астрономии посвящаются новейшим исследованиям Солнца и проблемам современной космогонии.

Брошюры по геологии и географии посвящены таким вопросам, как методы разведки полезных ископаемых, комплексные исследования в бассейне реки Амура и др.

Ждем ваших пожеланий и замечаний, дорогие товарищи, по каждой брошюре-лекции и по серии в целом.

*Издательство «ЗНАНИЕ»
Всесоюзного общества по распространению
политических и научных знаний*