

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК.

ПРОИСХОЖДЕНИЕ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ ¹⁾.

Дж. Джинс.

Современные астрономы располагают телескопами, отверстия которых лежат в пределах от отверстия глазного зрачка (одна пияга дюйма) до отверстия гигантского телескопа на Моунт-Вильсон — более 100 дюймов в диаметре. Если бы мы жили среди беспредельного пространства, равномерно заполненного звездами, или если бы это распределение можно было бы считать равномерным при осуществимых размерах телескопов, то число звезд, видимых в различные телескопы, можно было бы принять пропорциональным кубу отверстия.

В действительности, наш невооруженный глаз различает около 5 000 звезд; с помощью дюймового телескопа это число возрастает, примерно, до 100 000, с помощью десятидюймового — до 5 миллионов, а с помощью стодюймового, вероятно, до 100 миллионов. Эти числа возрастают гораздо медленнее, чем кубы отверстий. Отсюда можно заключить, что мы окружены неравномерным полем звезд. Мы живем, в конечной вселенной, распределение тел в которой очень заметно редет даже на небольших расстояниях, достижимых для наших телескопов. Предполагают, что вся вселенная содержит, примерно, 1 500 миллионов звезд; наше Солнце находится не очень далеко от центра ее.

Представим себе различные небесные тела в порядке их удаления от нас. Пренебрегая всеми телами, много меньшими нашей земли, мы должны прежде всего остановиться на Венере и Марсе, которые приближаются к нам на расстояние 26 и 35 миллионов миль. Далее идет Меркурий, ближайшее расстояние которого до нас составляет 47 миллионов миль. Самая далекая планета (Нептун) отстоит от нас на расстоянии около 2 800 миллионов миль.

¹⁾ Nature, 113, 329, 1924.

Но вот наступает большой пробел. Первое светило за ним — тусклая звезда *Proxima* Центавра, на расстоянии 24 триллионов миль, то-есть в 8 000 раз дальше Нептуна; вслед за ней — α Центавра, на расстоянии 25 триллионов миль от нас. Затем, по порядку, идут слабая красная звезда *Munich* 15 040, на расстоянии 36 триллионов миль, и другая слабая звезда — Лаланд 21 185 — на 47 триллионов миль. Следовательно, ближайшая группа звезд отстоит от нас в миллионы раз дальше, чем близкая нам группа планет. Затем идет Сириус, самая яркая звезда на небе, на расстоянии 50 триллионов миль. Далее начинается целый ряд небесных тел, удаленных от нас в 20 000 и более раз дальше, чем Сириус; но гораздо раньше этих тел встречаются спиральные и сфероидальные туманности и первичные звездные кучи. Ближайшей из последних, расстояние которой известно более или менее точно, является звездная куча N. G. C. 7006 которая, согласно Шепли (Shapley), отстоит от нас в 25 000 раз дальше Сириуса. Свет от этой звездной кучи достигает нас через 200 000 лет; между тем, для прохождения всей толщи этой кучи свету требуется несколько сотен лет. Повидимому, звездная куча N. G. C. 6 822 удалена значительно больше. По Шепли, ее расстояние от нас составляет около 6 000 000 000 000 000 000 (6.10¹⁸) миль, — это расстояние свет проходит в миллион лет. Как можно теперь думать, свет, излученный этими звездами в настоящий момент, дойдет до нас к концу существования нашей солнечной системы, свет же, наблюдаемый сейчас, был излучен в эпоху возникновения наших планет.

Нелегко сопоставить и сравнить одновременно все эти различные расстояния, но мы все же попытаемся это сделать. Земля движется вокруг Солнца со скоростью около двадцати миль в секунду; за год она описывает орбиту, длиною около шестисот миллионов миль.

Если мы площадь орбиты земли представим в виде булавоножной головки или точки с радиусом в сотую долю дюйма, то Солнце будет равно по величине невидимой пылинке, а Земля — ультрамикроскопической частичке, диаметром в одну миллионную долю дюйма. Орбита Нептуна, заключающая внутри себя всю солнечную систему, представится окружностью мелкой монеты между тем как расстояние до ближайшей звезды, *Proxima* Центавра, сделается равным 75 ярдам, а до Сириуса — 160 ярдам. В том же масштабе, расстояние до ближайшей звездной кучи N. G. C. 7006 представится длиной 2 400 миль, а до кучи N. G. C. 6 822 — около 12 000 миль, а, стало быть, грубо говоря, вся вселенная может быть представлена в объеме нашей земли.

Отсюда видно, что мы собираемся изучать происхождение и историю системы, размеры которой так относятся к размерам вселенной, как относятся размеры трехпенсовой монеты к размерам земли. Отчего же мы так заинтересовались этой мелкой монетой? Прежде всего потому, что при всем своем ничтожестве она — наша собствен-

ность, или, по крайней мере, часть ее, диаметром в миллионную долю дюйма, — является нашей собственностью. Но есть здесь еще и исторические мотивы, совсем не такие сентиментальные

Мы уже указывали, что между нашей системой и ее соседями лежит колоссальное пространство. Для развития астрономических знаний это пространство служило всегда большой помехой. Еще в прошлом веке человеческое представление о мире за пределами этого пространства было крайне скудно; звезды являлись не более как светящимися точками, «неподвижными светилами». В то время проблема мироздания по необходимости сводилась к проблеме о происхождении нашей системы.

Последние исследования изменили все это, и современные астрономы располагают большим запасом сведений о природе, строении и движениях тел, лежащих за пределами нашей системы. Космогонист прошлого века мог утверждать, что солнечная система возникла так-то и так-то, не опасаясь, что его теории потерпят фиаско, при сопоставлении с другими системами. Но если я теперь предлагаю вам теорию происхождения солнечной системы, то вы сейчас же можете потребовать ее приложения к объяснению свойств полутора миллиардов систем, лежащих за пределами упомянутого выше промежутка. Шло ли их развитие тем же путем, а если нет, то — почему? Начать изучение хорошо именно с этих систем.

Среди этих полутора миллиардов объектов есть некоторое, **небольшое** сравнительно, количество классов, природа и поведение **которых остаются загадочными**: это — планетарные туманности, переменные **Цфеиды**, переменные с большим периодом, типа Миры Кита и **немного других**. За исключением их, все остальные известные объекты можно расположить в один простой непрерывный ряд. Ряд этот можно составить, примерно, по возрастающей плотности: он начнется с особенно разреженных туманностей и кончится твердыми звездами с плотностью железа. Но не подлежит сомнению, что такой ряд является рядом эволюционным; по законам физики, плотность тела увеличивается, если оно излучает тепло, помимо же этого плотность не увеличивается. Начнем же наш обзор с самых первых доступных нам звеньев цепи — с туманностей.

Если исключить загадочные «планетарные туманности, то все остальные распадаются на два резко отграниченных класса, которые можно назвать туманностями правильной и неправильной формы.

Представителями туманностей неправильной формы являются, например, большие туманности Ориона и туманности окружающие Плеяды. До самого последнего времени, туманностям неправильной формы приписывали очень большую роль в эволюции миров. Отмечалось, что они обычно связаны с особенно горячими звездами, отсюда вытекала красивая, простая космогония, смотрящая на эти звезды, как

на продукт конденсации туманностей и допускающая, в их последующей жизни, постепенное, непрерывное охлаждение. Такая космогония была слишком проста, чтобы просуществовать долгое время. — она была создана несколько десятилетий назад исследованиями Расселя (Russell), Герцшпрунга (Hertzsprung) и других. Благодаря последним, мы теперь знаем, что очень горячие звезды связаны с неправильными туманностями и что они находятся в аналоге своей жизни, начиная склоняться к старости.

Пусть некоторая масса раскаленного газа сжимается и излучает тепло. Если бы масса излучала, не сжимаясь, она охлаждалась бы; если же масса, напротив, сжималась, не излучая, — она стала бы нагреваться. Но если излучение и сжатие происходят одновременно, то без математического исследования неизвестно, какая из двух тенденций возьмет верх. В 1870 г. Гомер Лэни (Homer Lane) показал, что масса газа, при достаточно малых давлениях, когда она приблизительно подчиняется обычным законам, должна, в действительности, нагреваться при излучении. Охлаждение не может начаться до тех пор, пока плотность не достигнет некоторого предела, когда наступают отклонения от законов совершенного газа: это происходит тогда, когда туманность уже не далека от стадии сжатия. Отсюда мы видим, что максимум температуры относится к среднему возрасту звезды. — к возрасту, когда ее вещество не может считаться совершенным газом. В этот средний период жизни звезды, температура на ее поверхности должна быть около $25\,000^{\circ}\text{C}$, тогда как температура в ее центре может достигать миллионов градусов. Ее средняя плотность, вероятно, равняется около одной десятой плотности воды. Неизвестно еще, почему звезды с такой максимальной температурой находятся в какой-то тесной связи с туманностями неправильной формы. Возможно, что некоторые звезды, при очень высоких температурах, в состоянии освещать окружающие скопления материи, которые помимо этого были бы невидимыми. Во всяком случае, повидимому, туманности неправильной формы не служат неотъемлемым звеном в эволюционной цепи. Вероятнее, что они являются побочным продуктом и, в качестве таковых, мы будем их рассматривать в дальнейшем изложении.

Вернемся теперь к туманностям правильной формы. Большинство из них имеют вид кругов или эллисов, иногда плавно очерченных по концам большой оси, иногда же обладающих заостренными концами. Пример последнего типа представлен на рис. 1. (Туманность N. G. C. 3115.) Целый ряд туманностей правильной формы исследовался спектроскопически, при чем, в некоторых случаях, обнаруживалось быстрое вращение вокруг оси, совпадающей с кратчайшим диаметром туманности. Математик может вычислить форму, которую принимает масса разреженного газа, при вращении. Если бы вращательное движение

отсутствовало, то масса приняла бы форму шара. При медленном вращении форма переходит в слегка сжатый эллипсоид вращения, — тело, напоминающее апельсин, как напоминает его наша земля. При ускорении вращения сфероид начинает вытягиваться по экватору и, наконец, при очень больших скоростях, принимает форму напоминающую двояковыпуклую линзу с острым краем по экватору, как это видно на фотографии туманности, представленной на рис. 1. Такая последовательность форм совершенно ясно наблюдается на примерах различных туманностей (правильной формы). Есть поэтому веские основания предполагать, что туманности представляют собою вращающиеся газовые массы; но мы попытаемся подтвердить это, прежде чем примем окончательно такое предположение.

Когда масса газа излучает энергию, то она должна сжиматься. Если это происходит при вращении, то момент количества движения

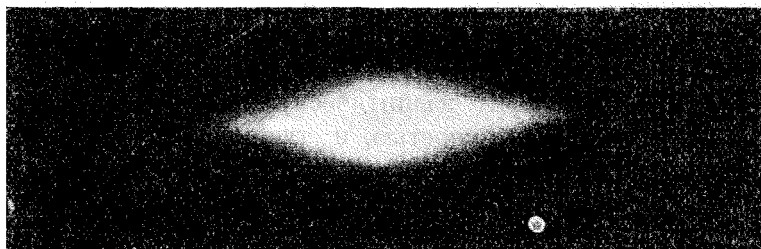


Рис. 1.

должен оставаться постоянным и для сохранения прежнего момента, сжавшаяся газовая масса должна вращаться со скоростью, большей чем первоначальная. Это обстоятельство, служившее краеугольным камнем Канто-Лапласовской космогонии, сохраняет глубокое значение и для космогониста наших дней. Всякая туманность, по мере увеличения ее возраста, начинает вращаться все скорее и скорее и, наконец, если ничто случайно не помешает, принимает форму, видимую на рис. 1. Такая форма знаменует перелом в жизни туманности. После достижения ее, туманность продолжает сжиматься, при чем скорость вращения должна возрастать, для сохранения прежнего углового момента. Но математический анализ движения показывает, что дальше этой границы форма не может более вытягиваться по экватору, сохраняя равновесие. Дальнейшее сжатие влечет за собою разрыв туманности, при чем часть материи выбрасывается наружу из экваториальной области.

До сих пор мы говорили, что экватор туманности имеет форму круга, что, несомненно, было бы справедливо, если бы туманность была уединена в пространстве. Но, в действительности, у туманностей имеются соседи, и эти соседи должны вызывать на поверхности туман-

ности приливы и отливы, подобно тому, как Солнце и Луна вызывают приливы и отливы на поверхности вращающейся Земли. Где только имеются соседние тела, там всегда должны быть две противолежащие точки максимальных приливов и две, расположенные с двух сторон между ними, точки наибольших отливов. Поэтому экватор, вместо



Рис. 2.

формы круга, примет форму эллиптическую. Если бы экватор туманности был идеальной окружностью, и туманность была бы вполне симметрична относительно оси вращения, то выбрасывание материи началось бы одновременно во всех точках экватора. В самом деле, здесь не могло бы быть оснований начаться этому процессу в одной точке раньше, чем в другой. Но в природе мы нигде не найдем такого



Рис. 3

совершенного равновесия; если главные факторы и компенсируют друг друга, то всегда найдутся маленькие факторы, нарушающие равновесие в ту или другую сторону. В данном случае, не было бы никакого различия между всеми точками экватора, если бы отсутствовали такие побочные факторы, но как только они появляются — тотчас же возникает разница. Можно вполне справедливо предположить, что такими факторами, вызывающими первоначальное выбрасывание материи в отдельных точках, являются приливы, и математическое исследование показывает, что, в этом случае, выбрасывание материи начнется

в двух точках-антиподах, в которых прилив максимален. Точки эти лежат по концам большой оси экватора, имеющего приблизительно эллиптическую форму. После того, как туманность перейдет критический рубеж (рис. 1), ее форма продолжает оставаться чечевицеобразной, но сейчас же в двух точках-антиподах ее экватора начинается отделение материи.

Это совершенно точно совпадает с тем, что мы наблюдаем в спиральных туманностях. Рис. 2 (N. G. C. 5 866) изображает туманность, в которой только что начинается выбрасывание материи; мы замечаем здесь набухание близ экватора и темную полосу, которая, вероятно, обязана своим происхождением выброшенной материи,



Рис. 4.



Рис. 5.

успевшей уже охладиться. Рис. 3 (N. G. C. 4 594) представляет дальнейшую стадию развития, а рис. 4 (N. G. C. 891)—еще более далекую стадию, когда отделившаяся материя очень сильно, хотя еще и не совсем, исчерпала массу ядра.

На всех этих рисунках, мы видели туманности, очень близкие друг к другу. Рис. 5 (M. 51) показывает хорошо известный «вихрь» в Гончих Собаках, — туманность, похожую физически на туманность рисунка 4, но видимую на этот раз с фронта: мы наблюдаем ее по направлению оси вращения. Тут центральное ядро занимает только маленькую часть всей картины. Рисунки 6 (M. 101) и 7 (M. 81)

изображают туманности, развитие которых пошло дальше, так что в последней из них осталось совсем маленькое ядро, а все остальное пространство занято выброшенной, по нашему предположению, материей. В обеих последних туманностях истоки отделяемой материи расположены в двух диаметрально противоположных точках, как это следует по динамической теории. До сих пор мы говорили, что элементы спиральной туманности составлены из выброшенной ядром материи, как на это указывает теория; но мы не удовлетворимся одной теорией: со-



Рис. 6.

вершенно непосредственные опыты подтверждают то же самое. Различные астрономы, особенно Ван-Маанен, открыли движение в венцах (arms) многих спиральных туманностей, включая и изображенные на рисунках 5, 6 и 7. Их наблюдения показали, что венцы туманностей действительно, состоят из материи, выброшенной ядром. Рис. 8 показывает движение, найденное Фан-Маанен (Van-Maanen) в 100 точках туманности М. 81; стрелки показывают перемещения за период 1.300 лет¹⁾; исследования различных других туманностей дали примерно тот же результат; трудно, следовательно, сомневаться в том, что венец туманностей со-

стоит из материи, истекающей из ядра. Измерения действительных скоростей в туманности М. 51 (рис. 5) показали, что частицы ее делают полный оборот вокруг ядра в 45 000 лет; в М. 81 (рис. 7) соответствующий период равняется 58 000 лет, а в М. 101 (рис. 6) — около 85 000 лет. Отсюда можно определить плотность материи в ядре. Найдено, что плотность эта — порядка 10^{-16} грамм на один кубический сантиметр, что соответствует вакууму более совершенному, чем тот, который только достигим в лабораториях. Если ничтожный объем газа

¹⁾ Точки, окруженные маленькими кружками, — звезды, не имеющие никакой физической связи с туманностью.

в обычной электрической лампочке накаливания распространить на объем большого храма то плотность его будет все же в 10 000 раз больше, чем плотность ядра туманности.

Туманность, изображенная на рис. 4, имеет зернистое строение. В М. 51 (рис. 5) уже ясно выражена конденсация, а во внешних областях М. 101 (рис. 6) и М. 81 (рис. 7) эта конденсация продолжилась еще дальше, выделив отдельные звездоподобные точки. Когда газ вырывается из обыкновенного сопла в вакуум, он тотчас же расширяется, стремясь занять весь предоставленный ему объем. Почему же этого не происходит при истечении газа из ядра туманности? Расширение приняло бы гигантские размеры, если бы указанный процесс имел здесь место. Но при увеличении масштаба начинает сказываться влияние гравитации, пока, наконец, при масштабе туманностей, гравитация начинает преобладать над склонностью газа расширяться и сливает выброшенную материю в отдельные струи. После того, как это случилось, произойдут явления, которые тоже может предсказать динамическая теория. Что касается распределения плотности вдоль нитей течений, то упругость газа стремится выровнять эту плотность: наоборот, под влиянием гравитации, струйки стремятся конденсироваться в отдельные сгустки. При достижении обычных размеров туманностей, последняя тенденция преобладает, и выброшенная материя распадается на капли, подобно тому, как распадается на капли вода, истекающая из трубки, но, разумеется, по совершенно иным причинам. На фотографиях, воспроизведенных на рисунках 4, 5, 6 и 7, мы можем проследить за ходом этого процесса.



Рис. 7.

Динамическая теория не только предсказывает образование таких газовых капель, но позволяет даже вычислить их размеры, массы и взаимные расстояния. Сопоставление этих расстояний, выраженных в километрах, с угловыми расстояниями, наблюдаемыми непосредственно на небе, дает возможность вычислить расстояние от нас до туманности. С удовлетворением можно отметить, что расстояния, вычисленные по

этому способу, прекрасно согласуются с другими определениями. Вычисления масс сконденсировавшихся газовых капель приводят к еще более интересным и важным результатам. В некоторых туманностях, для которых были произведены соответствующие вычисления, масса таких отдельных сгустков оказалась равной средней массе звезды.

Это, мне думается, дает ключ к разгадке интересующей нас эволюции — мы присутствуем здесь при создании новых звезд. На рис. 1 мы видели сырой материал — чрезвычайно сильно разреженную газовую массу, непрерывно сжимающуюся и при этом вращающуюся все скорее и скорее, пока не наступит, наконец, распадение си-

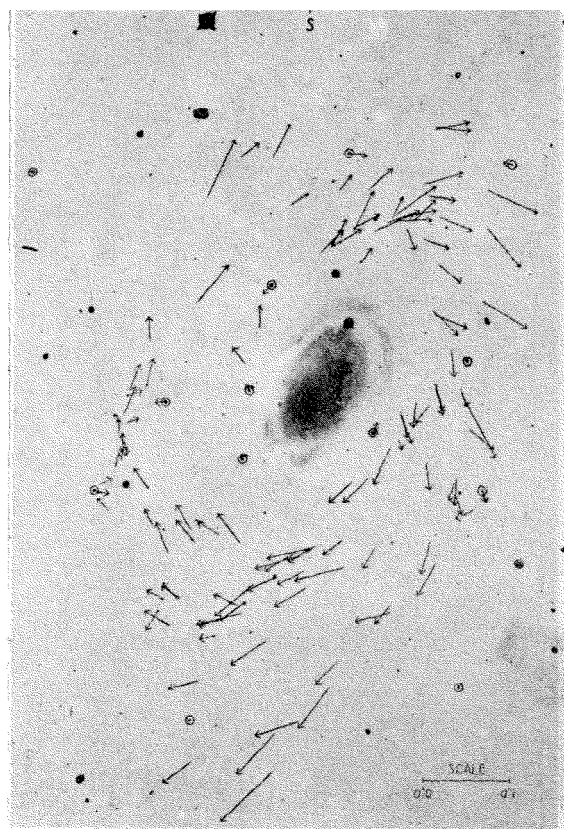


Рис. 8.

стемы. Сжатие и ускорение идет дальше, и на рисунках 2 и 3 мы видим начинающееся выбрасывание материи, из которой впоследствии возникнут звезды. На рисунках 4 и 5 видно первоначальное зарождение индивидуальных звезд, благодаря конденсации выброшенной массы. Наконец, во внешних областях рисунков 6 и 7 заметны окончательные продукты конденсации — отдельные массы, которые хотя не достигли еще плотности обыкновенных звезд, но уже начали вести самостоятельное существование. Каждая из этих масс пройдет весь путь, уже подробно описанный нами. Она будет сжиматься, нагреваясь при этом, — до тех пор

пока будут еще соблюдаться законы идеального газа; в дальнейшем, по достижении некоторой критической точки, отвечающей максимальной температуре, звезда будет продолжать сжиматься, но уже охлаждаясь при этом и переходя постепенно в мертвую, темную массу.

Число звезд, рождающихся из одной туманности, может достигать



Рис. 9

миллионов. Они могут или смешаться со всей массой окружающих звезд, или образовать свою самостоятельную семью, — если первоначальная туманность достаточно удалена от остальных миров. Примерами первой возможности могут служить Плеяды, звезды Большой Медведицы, — в которых все звезды имеют общую скорость и, вообще говоря, одинаковые физические свойства. Все звезды таких групп единовременно странствуют в пространстве, повидимому, с самого своего возникновения. Примером второй возможности, — образования отдельной колонии звезд, — могут служить, так называемые, „шаровидные“ звездные

кучи, подобные хорошо известной звездной куче Геркулеса (рис. 9). Она шаровидна только по названию, на самом же деле Шепли нашел, что она имеет форму эллипсоида, имеющего плоскость симметрии, что и должно иметь место, если она является продуктом вращавшейся туманности.

Нельзя, повидимому, утверждать, что указанные два случая — исключительно возможные. Более вероятно, что они служат концами непрерывной цепи всевозможных типов звездных групп, родившихся из одной туманности. Возможно даже, что так называемое „большое скопление звезд“ является не чем иным, как собранием звездных куч, происшедших из одной туманности. Кучи здесь так перемешаны, что трудно подметить отдельные группы звезд, но все же наше предположение не лишено вероятности по некоторым соображениям. В 1905 г. Каптейн заметил, что вблизи солнца звезды образуют два „звездных потока“, из которых каждое движется со своей скоростью в пространстве.

Оставляя в стороне вопрос о протяженности этих потоков в пространстве, можно предположить, что они представляют собою движущиеся звездные кучи. Вскоре затем, независимо друг от друга, Эддингтон и Холм (Halm) нашли третий „поток“ или движущуюся звездную кучу, состоящую из очень горячих звезд, которые астрономы относят к классам В и О. В этом случае мы знаем размеры кучи и ее приблизительную форму. Согласно Шарлье (Charlier), ее форма напоминает круглый бисквит, лежащий параллельно Млечному Пути, при чем диаметр в 2,8 раза больше толщины. Некоторые звездные кучи имеют общее происхождение, но их первоначальная форма резко меняется, как только они вступают в окружающую звездную среду. Динамическая теория показывает, что, после вступления в звездный мир, куча должна принять форму круглого бисквита, параллельного Млечному Пути, при чем диаметр будет в 2,5 раза больше толщины. Это достаточно хорошо согласуется с наблюдениями и показывает, что все звезды в „потоке“ — одного происхождения; то же самое относится и к некоторым маленьким движущимся кучам, напр., к упомянутой уже куче Большой Медведицы. Мы не можем, правда, претендовать на полную достоверность наших допущений, но есть все же основание думать, что „большое скопление звезд“ представляет собою комок перемешанных звездных куч, каждая из которых образовалась из отдельной туманности. Это, собственно, не имеет отношения к вопросу о происхождении солнечной системы; мы затронули это лишь для того, чтобы округлить совокупность понятий об эволюции звезд.

Такая эволюция похожа, а в первых своих стадиях совершенно идентична с той, которую принял Лаплас в своей знаменитой гипотезе о происхождении солнечной системы. Перед нашими глазами прошло вращение и сжатие туманностей; мы подметили конденсацию материи

в отдельные массы; наконец, мы были свидетелями начала странствований этих отдельных масс в пространстве, при чем все в точности совпадает с тем, что было нарисовано Лапласом.

Одно лишь различие можно отметить. Мы проследили эволюционный процесс в таком масштабе, о котором и не мечтал Лаплас. Размеры первичной туманности он полагал равными орбите Нептуна, а я уже сказал в начале этой статьи, какова разница в масштабе между нею и расстояниями звездных миров. Если опять принять диаметр орбиты Нептуна за диаметр мелкой монеты, то одно лишь ядро туманности рисунков 6 и 7 заполнит весь дворец Альберта (Albert Hall), а венец покроеет весь Гайд-Парк и Кинзингтон. Если бы пожелали изменить масштаб так, чтобы тела, размера нашей земли, стали видимыми простым глазом, то в этом масштабе туманность распростерлась бы на весь округ, а, быть может, и на весь континент.

Но если первичная туманность и несравнима по размерам с Лапласовской, то, тем не менее, газовые сгустки, на которые она распадается, приближаются по своей массе к предположениям Лапласа, и размеры их отличаются от Лапласовских довольно незначительно. Если допустить, что эти молодые образования ведут себя так же, как и первоначальная туманность, то можно объяснить возникновение планет: если же принять во внимание третичный распад материи, повторяющий историю предков, — то можно будет объяснить и происхождение спутников. Но математическое исследование и непосредственное наблюдение противоречат такой простой гипотезе о происхождении солнечной системы. Как мы видели, нити спиральных туманностей достигают огромных размеров и, при таких размерах, гравитация преобладает над упругостью газа, заставляя его конденсироваться. Туманности, масса которых сравнима с массой Солнца, проходят вначале тот же жизненный путь: до тех пор, пока с их экватора не начнется выделение материи. После этого цикл их развития отличается от описанного выше. Выброшенная материя не может сконденсироваться в нити, а тем более — в комки; она образует разреженную атмосферу, окружающую туманность. Такая система начинает все больше и больше сжиматься, излучая тепло; при этом постоянство углового момента сохраняется за счет выбрасывания все новых и новых газовых масс из центра в атмосферу.

Математическое исследование показывает, что, после того как центральная звезда сожмется до некоторой критической плотности, — приближающейся к одной десятой плотности воды, — наступает катастрофа, при которой вся система превращается в двойную звезду: две звезды соизмеримой массы начинают вращаться одна вокруг другой по очень близкой, приблизительно круговой, орбите. Это — образование, с которым хорошо свыклись астрономы-практики. Они нашли, что весьма значительная часть — вероятно более половины — звезд на небе ока-

зываются двойными. Первоначально они находятся, как было упомянуто, на очень близком расстоянии одна от другой. Впоследствии они отходят друг от друга все дальше и дальше, при чем эксцентricность орбиты возрастает. Теория показывает, что процесс деления, приведший к распадению одной звезды на две, может повториться и с каждым из спутников, при чем образуется „сложная“ — тройная, четверная и т. д. звезда. Рёссель, исследовавший этот вопрос теоретически, нашел некоторые численные соотношения между взаимными расстояниями сложных звезд; он показал также, что предсказания теории подтверждаются наблюдениями.

До сих пор, следовательно, теория и наблюдение идут рука-об-руку. Мы проследили за ходом развития астрономических объектов, по пути от тончайших туманностей до самых плотных сложных звезд, и на всех этапах этого пути наблюдения подтверждали теоретические предсказания. Но не все астрономические объекты проходят весь этот путь. Руководящей причиной на этом пути является вращение в совокупности со сжатием, вызванным излучением тепла. После достаточно продолжительного сжатия начинается отвердевание; скорость вращения больше не может возрасти, и эволюция тела, с физической точки зрения, приостанавливается. Продолжительность развития каждого данного тела зависит от запаса живой силы вращения, имеющегося первоначально. Если, в начале своей жизни, туманность абсолютно не вращается, то она навеки сохранит сферическую форму, превращаясь постепенно в холодную, неизлучающую массу. Такая туманность никогда не покинет своего первоначального положения. Это, повидимому, маловероятно, но мы знаем все же, что некоторые туманности замерзают и умирают, не достигнув критической стадии (рис. 1), при которой начинается зарождение звезд. Точно так же много звезд остывают и перестают развиваться, никогда не достигая стадии образования двойных звезд. Таким же образом многие двойные системы не могут никогда перейти в системы более сложные. Обратимся здесь к наблюдениям: чистых двойных систем известно в десять раз больше, чем систем сложных, прошедших через стадию двойных. Теория дала нам возможность проследить весь цикл развития объектов, но и теория и наблюдения показывают, что немногие лишь системы могут пройти весь такой цикл.

Мы подходим теперь к самой сущности вопроса. Нигде в этом цикле мы не нашли солнечной системы, или чего-либо хоть немного походящего на нее. Если бы наше Солнце не было окружено планетами, мы без труда выяснили бы его происхождение. Можно было бы предположить, что оно родилось из обычной туманности, и развитие его шло нормальным путем, но что оно обладало небольшим запасом живой силы вращения, а потому уклонилось с обычного эволюционного пути, не успев распасться на систему двойной звезды. Действительно, можно было допустить, что его история такова же, как история половины

звезд на небе. Доводом в пользу этого предположения может служить то обстоятельство, что масса Солнца равна массе звезд, рождающихся из туманностей, и что, за исключением планет, она во всем остальном подобна миллионам других звезд, происшедших, повидимому, из туманностей. Подтверждением гипотезы о небольшом запасе количества движения, остановившем его дальнейшее развитие, может служить медленность его вращения в настоящее время. Простое вычисление показывает, что Солнце обладает только небольшой частью всего количества движения, необходимого для распада. Если даже мы сложим угловые моменты всех планет, предположив, что они когда-то отделились от Солнца, — то придем к тому же выводу: угловой момент всей системы составляет лишь небольшую часть необходимого для распада Солнца и образования системы двойной звезды. Происхождение солнца, поэтому, является для нас понятным. Затруднения же возникают при попытке объяснить происхождение планет и их спутников.

Уже не раз замечались некоторые астрономические системы, не укладывающиеся в наше представление об обычном эволюционном пути. Частными примерами могут служить планетарные туманности, переменные звезды Цефеиды и переменные с длинными периодами. Так как развитие некоторых систем не совпадает с описанным выше путем большинства светил, то надо полагать, что к этому главному пути могут примыкать различные разветвления, по которым может пойти развитие под влиянием различных причин. Это — единственное, что можно предположить. Мы можем рассчитывать, что две звезды постигнет одна и та же судьба, с еще меньшей вероятностью, чем если бы говорили о двух людях. Мы предполагали, что наша нормальная звезда развивается во вселенной совершенно самостоятельно, при чем ее момент количества движения оставался постоянным и не подвергался возмущениям со стороны соседей. Математики находят удобным предоставлять каждой звезде весь беспредельный мир, но в природе этого не бывает. Однако никогда идеальные предположения математиков не подходят так близко к истине, как в нашем случае. В том масштабе, который нами уже употреблялся, и в котором Солнце представлялось микроскопической частицей, — в одну десятитысячную дюйма диаметром, — самая гигантская из известных звезд представится булавочной головкой, диаметром в одну тридцатую дюйма. Пространство, отведенное звездам, в этом же масштабе представится внутренним пространством собора Петра и Павла. Пространство это нелегко заполнить, хотя и можно себе представить, что при своих движениях одни звезды могут возмущать движение других при их встречах; но совершенно ясно, что сколько-нибудь серьезные воздействия могут здесь иметь место лишь в редких, исключительных случаях. Очевидно, мы были правы, рассматривая эволюцию звезды совершенно не нарушаемую соседними телами; мы видим теперь, почему огромное большинство звезд развивается именно таким, нормальным путем.

По всей вероятности, число звезд, сошедших с этого нормального пути, весьма невелико. Количество звезд на небе равно, приблизительно, числу людей на земле; количество известных нам исключительных систем отвечает количеству населения маленького городка, хотя, разумеется, можно предположить, что часть таких исключительных систем еще неизвестна нам. Нет оснований думать, что причиной, отклоняющей развитие звезды с нормального пути может служить лишь воздействие соседей, — но систем, представляющих исключение, известно достаточно мало для того, чтобы считать это справедливым в большинстве случаев.

Но нам предстоит заняться не исключениями вообще, а нашей солнечной системой — в частности. Какая же соседняя звезда отклонила ее от общего пути развития? Здесь, впервые, астрономические наблюдения не могут нам помочь. Неизвестно по соседству с солнечной системой ни одной системы, которая могла бы так или иначе оказать это влияние. Но нет оснований думать, что такой системы не существует: возможно, что мы только не видим ее, как умершую. Астрономы какой-нибудь далекой звезды наблюдали бы нашего Юпитера, как самое яркое тело, после Солнца, в нашей системе, но и его яркость составляла бы лишь одну триста миллионную яркости Солнца. С ближайшей к нам известной звезды, *Proxima Centauri*, Солнце казалось бы звездой первой величины, а Юпитер — звездой 22,2 величины, при чем угловое расстояние между ними равнялось бы четырем секундам дуги. Звезда 22,2 величины совсем недоступна наблюдению в наши телескопы тем более, что она находится на расстоянии четырех секунд от звезды первой величины. Мы должны позаботиться о значительном усилении наших телескопов, прежде чем мы можем надеяться заметить на небе системы, подобные нашей и при том отстоящие от нас не дальше, чем *Proxima Centauri*. Ясно поэтому, что здесь наши исследования выходят из пределов той области, где наблюдения могут подтвердить или опровергнуть наши выводы: отсюда начинаются исключительно теоретические построения.

Начиная наши исследования, отметим, что солнечная система обладает некоторыми очень заметными характеристическими чертами. Это вовсе не собрание тел, случайно сгруппировавшихся вместе, — тогда бы пришлось отказаться от мысли разгадать их происхождение. Но характеристическими чертами обладает не только система Солнца и планет, но они же повторяются в меньших системах Юпитера и Сатурна с их спутниками. Каждая из этих малых систем является уменьшенной копией солнечной системы, а потому нельзя удовлетвориться объяснением происхождения одной только из этих систем, если одновременно не объяснится и происхождение двух других. Главными общими чертами трех этих систем является то, что орбиты их, за немногими исключениями, лежат в одной плоскости, что эти орбиты описываются везде в одном

и том же направлении, и что массы спутников по отношению к планетам так же малы, как массы планет по отношению к Солнцу. Например, масса Солнца в 1047 раз превышает массу наибольшей планеты, Юпитера, а масса последнего — в 11000 раз больше массы самого большого из его спутников. Наименьшая разница в массах найдена в нашей системе Земля-Луна, где отношение масс равно 81:1. В системах с большим числом спутников (напр., Солнце, Юпитер, Сатурн) наблюдается общая тенденция возрастания масс до некоторого максимума и дальнейшего их убывания. — по мере удаления от центрального тела. Так, в главной системе имеется правильный ряд: Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер, где лишь Марс нарушает закономерность, обладая аномально малой массой, и нисходящий ряд: Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун, в котором Нептун также представляет исключение, так как его масса на несколько процентов меньше массы Урана.

При описании основного эволюционного пути мы имели в виду сжимающуюся и вращающуюся массу, — первоначально газообразную, затем жидкую и, наконец, твердую, — независимо развивающуюся в пространстве. Такая система должна обладать заметными характеристическими чертами в течение всей своей жизни. — именно, она должна иметь плоскость симметрии. В ее самом первобытном состоянии, когда она была лишь хаосом независимых молекул, плоскость эта должна совпадать с той, которую математики называют „инвариантной“ плоскостью системы. Позже, когда масса принимает правильную форму вращающейся туманности, плоскость эта делается экваториальной, в которой постепенно появляются струи, конденсирующиеся затем в отдельные звезды. Симметричность спиральных туманностей, относительно экваториальной плоскости, показывает само собой, что они развивались из вращающихся масс, в отсутствии посторонних, возмущающих влияний.

Если бы наша солнечная система развивалась из вращающейся массы, не подвергавшейся возмущениям, то она обладала бы общей плоскостью симметрии. Орбиты почти всех планет и спутников, действительно, лежали бы приблизительно в одной плоскости, которую поэтому можно принять за плоскость симметрии. Но ось вращения Солнца не перпендикулярна к этой плоскости: Солнце имеет свою собственную экваториальную плоскость симметрии, которая наклонена под углом 7° к плоскости планетных орбит.

Несовпадение этих двух плоскостей уже само по себе показывает, что наша система не могла просто развиваться из вращающейся, невозмущаемой массы. Поэтому, заглядывая в далекое прошлое нашей системы, мы должны принимать во внимание, как вращение масс, так и внешнее влияние на них. В первом, грубом приближении, естественно будет предположить, что плоскость солнечного экватора совпадает с плоскостью вращения первоначальной системы, между тем как плоскость планетных орбит определялась внешними воздействиями.

Из всех взаимодействий между двумя отдельными астрономическими телами, гравитационное притяжение является самым значительным. Луне когда-то приписывали влияние на самые разнообразные явления на Земле, например, на погоду, на судьбу людей, на их чувства и даже на их здоровье; но единственным влиянием, которое заслужило научное исследование, является гравитационное притяжение, вызывающее периодические приливы. Несомненно, что столкновения между двумя астрономическими телами повлекут за собою более трагические результаты, чем приливная волна, но мы их здесь рассматривать не будем. Такие столкновения происходят, вероятно, чрезвычайно редко: они также могут вызвать отклонение системы от основного эволюционного пути, но нельзя допустить, что наша солнечная система отклонилась от главного пути именно под действием такой катастрофы. Так как за недостатком времени мы не можем исследовать все возможные разветвления эволюционного пути, то мы обратимся к ответвлению наиболее вероятному для нашей системы, — ответвлению, вызванному очень мощным приливным воздействием.

Высота прилива, вызываемого на Земле Луною, достигает в среднем нескольких футов. Эта высота составляет, примерно, одну десятиллионную часть радиуса Земли, — часть, которую мы будем называть приливной частью. Если бы Луна была в десять раз тяжелее, то приливная часть возрасла бы в десять раз; если бы ее расстояние от Земли уменьшилось вдвое, — приливная часть возрасла бы в восемь раз. Если мы условимся измерять массы в долях массы того тела, на котором возникают приливы, и если в качестве единицы длины примем радиус того же тела, то приливная дробь будет равна массе приливообразующего тела, деленной на куб расстояния, т.е. $\frac{M}{R^3}$. Из этой формулы мы найдем, что ближайшая к нам звезда, Proxima Центавра, вызывает на Солнце прилив неизмеримо малой величины; приливная дробь здесь равняется 10^{-26} , и действительная высота прилива составляет 10^{-15} см, т.е. одну пятидесятую часть радиуса электрона. Эта простая иллюстрация показывает, что при нормальных условиях взаимодействия между соседними звездами чрезвычайно незначительны. Для того, чтобы приливные силы приобрели значение в космогонии, необходимы аномальные условия.

Наше Солнце в настоящий момент не имеет достаточно близких соседей; но возможно, что когда-то при его странствованиях среди звезд оно проходило мимо какой-нибудь из них на расстоянии меньшем, чем современное расстояние до Proxima Центавра. Наиболее достоверные способы суждения о возрасте земли, даваемые геологией и изучением радиоактивности, указывают цифры от 800 до 1.100 миллионов лет. Для надежности примем возраст Солнца равным 1.000 миллионам лет. Сделаем допущение, мало уклоняющееся от истины, — что в те-

чение всего этого миллиарда лет Солнце и все звезды двигались точно так же, как и сейчас, с теми же средними скоростями, сохраняя то же среднее расстояние одна от другой. За этот миллиард лет расстояние Солнца от ближайших звезд должно было постепенно изменяться, и, следовательно, различные звезды одна за другой оказывались в роли ближайших соседей. Но было когда-то время, когда Солнце находилось ближе всего к какой-нибудь из звезд. Вычисление, основанное на теории вероятностей, показывает, что это ближайшее расстояние должно было быть порядка 7×10^{15} см. — расстояние, которое равняется, во всяком случае, одной шестисотой части расстояния Proxima Центавра и в пятнадцать раз превышает радиус орбиты Нептуна. Даже если бы Солнце заполняло всю орбиту Нептуна, то приливная часть, вызванная такой близкой звездой, с массой, равной массе Солнца, была бы равна $\frac{1}{(15)^3}$, или $\frac{1}{3375}$, т.е. высота прилива была бы совершенно

незначительна с точки зрения космогонии. Пока дело обстоит так, приливное взаимодействие между отдельными звездами приходится признавать несущественным в космогонии, если только случайно эти две звезды не пройдут на исключительно близком расстоянии одна от другой.

Возможно, следовательно, что наше Солнце стало жертвой такой исключительно близкой встречи. Нет никаких оснований считать такой случай a priori невероятным. В результате такой близкой встречи, как увидим, могла создаться система, во многом напоминающая нашу солнечную.

Наши вычисления вероятностей основывались на ошибочном допущении, что условия звездного мира оставались подобными современным за период миллиарда лет. Заглядывая в далекое прошлое вселенной, мы встретим эпоху, когда все условия резко отличались от современных. Мы дойдем до эпохи, которую мы уже исследовали, и в которой Солнце еще не приобрело своих нынешних характерных черт. Оно являлось одним из спутников в венце спиральной туманности, движущимся вместе с тысячами подобных же сгустков. Его плотность была несравненно меньше современной, а его размеры — соответственно больше. Оно было, стало быть, гораздо ближе к своим соседям, чем сейчас. В этот древний период его существования приливный эффект, вызываемый его соседями, был огромный; коснемся этого ближе.

Вообще говоря, при прохождении одной звезды вблизи другой, прилив исчезает, как только приливообразующее тело удаляется. Даже если светила сближались так тесно, что высота прилива превышала радиус первой звезды, то, после удаления второй, первая вновь принимает свою начальную сферическую форму. Но существует предел, за которым первоначальная форма уже не может быть восстановлена. Предельное расстояние зависит, прежде всего, от массы возмущающего тела; в меньшей степени оно зависит от скорости вращения,

формы и распределения плотности первой звезды; слегка зависит оно также и от скорости одной звезды относительно другой. Достаточно правильное представление о ходе событий мы получим, если вообразим первую звезду окруженной некоторой фиктивной сферой, радиус которой зависит от массы возмущающей звезды. Если ее масса равна массе первой звезды, то радиус воображаемой сферы будет равен $2^{1/4}$ действительным радиусам первой звезды; если возмущающая звезда в восемь раз тяжелее первой, то радиус воображаемой сферы будет превышать действительный радиус первой звезды в $4^{1/2}$ раза. До тех пор, пока центр проходящей звезды минует первую звезду вне такой воображаемой сферы, прилив исчезает по удалении возмущающих сил, но как только центр возмущающей звезды проникает внутрь воображаемой сферы, так начинаются совершенно новые явления.

При приближении возмущающего тела, прилив вздымается все выше и выше, при чем в наивысшей его точке сила притяжения к центру первой звезды все убывает и убывает. В то же самое время притяжение к центру возмущающего тела начинает сказываться все сильнее и сильнее. Наконец, как раз, когда центр проходящего тела движется по периферии критической сферы, гравитационные силы обоих тел, действующие на прилив, уравниваются друг друга, — этим условием и определяются размеры критической сферы. Если проходящая звезда пронизывает эту сферу, то частицы приливной волны отрываются от первой звезды, ибо результирующая гравитационная сила теперь уже направляется в сторону возмущающего тела. В результате, в точке наивысшего прилива отрывается струя или клубок газа. Каждая выброшенная частица газа начнет двигаться под совместным действием первой и второй звезд, и задача определения ее орбиты является частным случаем задачи о трех телах, которая, к несчастью, неразрешима. Но, вообще говоря, путь выброшенной материи, испытывая различные искривления, будет все время лежать в плоскости, содержащей орбиту возмущающей звезды.

Если бы такое выбрасывание материи из Солнца произошло просто под влиянием вращения и сжатия, то гравитационного притяжения было бы, как мы видели, недостаточно для противодействия упругому расширению газа, и материя быстро рассеялась бы в пространстве. В случае, исследуемом нами теперь, условия по существу совершенно другие: сжатие при испускании тепла есть процесс очень медленный, а катастрофа, связанная с приливом, может произойти очень быстро. Эффект вращения звезды проявится через тысячи лет, тогда как десятка лет вполне достаточно для того, чтобы приливообразующее тело явилось, сделало свое дело и удалилось прочь. Газовая струя, выделяемая при увеличении скорости вращения, чрезвычайно тонка: струя, выбрасываемая при приливной катастрофе, может легко существовать самостоятельно, и ее гравитационного поля вполне достаточно, чтобы она могла сконденсироваться в компактную массу.

Если гравитация в состоянии совершить это, то она может также разбить струю на отдельные сгустки, как это бывает при конденсации спиральных туманностей. Но здесь надо принять во внимание существенное различие. Сжатие туманностей — медленный, вековой процесс. Год за годом, столетие за столетием продолжается истечение струй однородной формы — процесс можно сравнить с плетением веревки. Но приливная катастрофа, напротив, протекает быстро: в течение немногих лет выделение струи начинается, достигает максимального развития и затем прекращается. Когда струя такой формы распадается, она образует не длинную цепь одинаковых масс, но небольшое количество масс неодинаковых. Естественно предположить *a priori*, что наибольшие массы возникнут из центральных частей нити, более богатых материей, а наименьшие — из конечных частей, где материя сильнее всего разрежена. Это предположение может быть подтверждено тем фактом, что наибольшие планеты нашей солнечной системы, Юпитер и Сатурн, находятся близко от середины ряда всех планет.

Если приливной катастрофой можно объяснить происхождение планет, то, очевидно, можно в общих чертах объяснить и происхождение их спутников. В самом деле, тотчас же вслед за рождением какой-нибудь планеты, например, Юпитера, возникнут те же начальные условия, но воспроизведенные в миниатюре. На долю Юпитера выпадает теперь судьба Солнца, при чем либо одна из соседних звезд, либо само Солнце вызывают на нем прилив и связанную с ним катастрофу. Так как Юпитер, Солнце и возмущающая звезда двигались в одной и той же плоскости — в плоскости орбиты Юпитера, то его спутники должны после своего возникновения также двигаться в этой плоскости, что и подтверждается наблюдением.

Пока мы исследуем наш вопрос в общих чертах естественно думать, что процесс может идти так все дальше и дальше, от одного рождения к следующему рождению, что каждый член семьи спутников может произвести еще меньшие спутники, которые будут вращаться вокруг него — и так до бесконечности. Но внутреннее чутье подсказывает, что так не может продолжаться без конца: должен быть какой-то предел. Точное вычисление подтверждает доводы этого внутреннего чувства, но показывает, что мы перешли бы этот предел, если бы прилагали ко всем спутникам один и тот же метод рассуждения. Я уже упоминал о математической формуле, которая позволяет вычислить массы тел, образовавшихся при конденсации венца спиральных туманностей. Та же формула послужит нам и для вычисления масс планет, возникших из струй, выброшенных Солнцем. Предположим, что в эпоху катастрофы радиус Солнца равнялся радиусу орбиты Нептуна, а потому его плотность была $5,5 \times 10^{-12}$. Допустим, что в середине выброшенной струи средняя плотность была в десять раз меньше, т.е. $5,5 \times 10^{-13}$. Допустим далее, что температура выброшенной материи соответствовала молеку-

лярным скоростям 4×10^4 , какими обладают молекулы водорода или кислорода вблизи их точек кипения. Тогда наша формула покажет, что масса планет, образовавшаяся из средних частей струн, должна быть около 10^{30} *м*, — т.е. средней между массами Юпитера и Сатурна. С удовлетворением отметим, что наши рассуждения, на которых основывались вычисления, не привели нас к ошибочным выводам, и что намеченный нами путь оказался правильным. Для подтверждения „приливной“ теории рождения этих планет, мы могли бы обратить ход вычислений и, задавшись их современными известными массами, вычислить какова должна была быть плотность материи, их породившей.

Разумеется, такого рода обратные вычисления применимы не только к Юпитеру и Сатурну; если гипотеза приливов верна, то такие же вычисления можно проделать и по отношению ко всем планетам и их спутникам. Например, первые пять спутников Сатурна обладают массой около 5×10^{23} *м*; наши вычисления показывают, что, если бы эти спутники сконденсировались из газовых струй, выброшенных Сатурном, то плотность этого газа должна была бы лежать в пределах от плотности свинца до миллион раз большей. Такое предположение, следовательно, нецелесообразно; единственно, что можно заключить, это — что спутники Сатурна не возникли из сконденсировавшейся газовой струи.

Такое заключение не является неожиданным, непредвиденным. Так как даже теперь спутники эти в виду малых размеров не могли бы удерживать газовую атмосферу, то они никогда не могли и быть в газообразном состоянии. Они родились либо в жидком, либо в твердом состоянии.

Таким путем мы дошли, наконец, до предела, за которым уже невозможно образование новых спутников. Предел этот кладется прежде всего малой величиной спутников. Процесс может закончиться еще и потому, что материя может перейти в жидкое или даже твердое состояние, не успев еще распасться на части, как это произошло, вероятно, со спутниками планет и с малыми планетами.

Что же сказать о нашей Земле, которая интересует нас больше всех других планет? Ее современная масса слишком мала для того, чтобы допустить происхождение ее из газовой струи, но мы должны помнить, что если бы она родилась в газообразном состоянии, то большая часть ее массы рассеялась бы в пространстве, так что современная земля представляет собою, быть может, лишь остаток бывшей, более массивной планеты. Но такой подход к исследованию нам ничего не даст. Более продуктивным может оказаться исследование нашего спутника, Луны. Если какая-либо планета родилась в жидком состоянии, то под влиянием приливов, вызванных Солнцем, она должна была отделить спутника, но разница в массах между ней и спутником не так велика, как в случае газообразных планет. Следовательно, переходя от планет, родившихся в газообразном состоянии, к планетам, родив-

шимся в жидком состоянии, мы встретим вместо большого числа мелких спутников — небольшое число относительно крупных и, наконец, встретим планеты, совершенно не имеющие спутников. Как раз это мы наблюдаем в солнечной системе. Оставив Юпитер и Сатурн, обладающих девятью сравнительно мелкими спутниками каждый, мы перейдем к Марсу с его двумя спутниками и Земле с ее одним, относительно большим спутником; затем последуют Венера и Меркурий, совершенно лишенные спутников. Следуя в противоположную сторону от Юпитера и Сатурна, мы придем к Урану с его четырьмя небольшими спутниками и, наконец, Нептуну, с его одним относительно большим спутником. С такой точки зрения система Земля — Луна представляет границу между планетами, родившимися в газообразном и родившимися в жидком состоянии; в другой половине цепи такую же связующую роль играет Нептун. Отсюда мы можем заключить, что Меркурий и Венера родились в жидком или в твердом состоянии, Земля и Нептун — частью в жидком, частью в газообразном, а Марс, Юпитер, Сатурн и Уран — в газообразном.

Мы уже отмечали, что Марс и Уран обладают массами слишком малыми, соответственно их месту в ряду планет. Если планеты родились из струи постепенно изменявшейся плотности, то масса Марса должна быть средней между массами Земли и Юпитера; точно так же масса Урана должна быть средней между массами Нептуна и Сатурна. С другой стороны, мы видели, что, по всей вероятности, Марс и Уран — наименьшие планеты, родившиеся в газообразном состоянии; вполне вероятно поэтому, что обе эти аномальные планеты в свое время выбросили во внешнее пространство больше материи со своей поверхности, чем остальные планеты. Допустим же, что Марс и, в меньшей степени, Уран выбросили в пространство большую часть своей массы; допустим, что они — лишь остатки каких-то более тяжелых планет, — и все аномалии исчезнут, все затруднения будут прекрасно устранены.

Тем не менее, при всех больших достижениях приливной теории, она вовсе не претендует на полное, окончательное объяснение происхождения солнечной системы; она является лишь теорией, рисующей, мне кажется, наиболее ясно историю этой системы и более всех других свободной от непреодолимых трудностей.

Перевел *Вас. Швейкин*.