

БИБЛИОТЕКА НАУЧНЫХ НОВОСТЕЙ

1

ДЖ. Ф. ДЖЭНС

ПРОИСХОЖДЕНИЕ
СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

МАΘΗΣΙΣ

<http://mathesis.ru>

ОТ ИЗДАТЕЛЬСТВА

Библиотека Научных Новостей имеет целью удовлетворить стремлению каждого, имеющего то или иное прикосновение к науке или даже просто интересующегося ею, быть осведомленным о том, что делается в ее различных областях, в каком направлении идет сейчас научное исследование, какие вопросы стоят на первом плане, каковы достижения научной мысли и т. д. Стремление это тем более настойчиво, тем более нетерпеливо, что никогда еще, быть может, научная работа не шла так энергично, так почти лихорадочно, как теперь, после вынужденного, благодаря войне, прерыва. Эта потребность нигде не может быть, конечно, острее, чем у нас в России, с ее все еще столь замедленным темпом научной работы.

Библиотека Научных Новостей, выходящая под общей редакцией проф. А. Р. Орбинского, будет состоять из ряда отдельных выпусков, связанных лишь общей идеей, но содержащих каждый совершенно независимую, самостоятельную статью. Каждый такой выпуск, объемом около 1—2 печатных листов, будет посвящен либо отдельному вопросу, привлекающему к себе особенное внимание исследователей, либо обзору той или иной, более или менее широкой, области научной работы.

Соответственно тем пределам, которые Издательство МАТЕЗИС ставит для себя вообще, *Библиотека Научных Новостей* будет посвящена исключительно наукам физико-математического цикла и естествознанию, с их приложениями.

В ближайшем намечены к выпуску:

Джэнс. Дж. Происхождение солнечной системы,

Рётгерфорд. История жизни альфа-частицы,

Томсон Дж. А. Новая биология,

Маркони Г. Беспроволочная телеграфия.

БИБЛИОТЕКА НАУЧНЫХ НОВОСТЕЙ

<http://mathesis.ru>

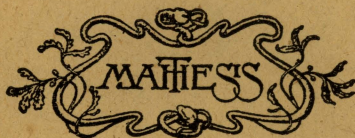
ДЖ. Ф. ДЖЭНС

ПРОИСХОЖДЕНИЕ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

[J. Jeans. The Origin of the Solar System]

ПЕРЕВОД ПОД РЕДАКЦИЕЙ

Проф. А. Р. ОРБИНСКОГО



ОДЕССА — 1924

<http://mathesis.ru>

Р. О. П. (Одесса) № 2903.
Первая Государственная
типография им. К.Маркса
Стурдзовский пер. № 3-а.
Заказ № 4294 — 3000 экз.

<http://mathesis.ru>

ПРОИСХОЖДЕНИЕ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

В распоряжении современного астронома имеются телескопы с отверстиями от поперечника зрачка, около полусантиметра, до гигантского рефлектора Моунт-Вилсона с поперечником свыше 2,5 метров. Если бы мы жили посреди бесконечного равномерного поля звезд или поля, равномерного на том расстоянии, на какое хватают наши телескопы, то число звезд, видимых в различные телескопы, было бы пропорционально кубам их отверстий.

В действительности невооруженный глаз видит около 5 000 звезд; для телескопа с отверстием в 2,5 см это число поднимается приблизительно до 100 000, для телескопа в 25 см до 5 миллионов, а для 2,5-метрового, быть может, до 100 миллионов. Числа эти растут гораздо медленнее, чем кубы отверстий. Отсюда мы заключаем, что нас не окружает бесконечное равномерное звездное поле. Мы живем в конечной вселенной, которая совершенно отчетливо исчезает на расстояниях, достижимых телескопом очень умеренных размеров. Оценивают, что вся вселенная состоит приблизительно из 1 500 миллионов звезд, причем наше солнце находится не очень далеко от центра этой системы.

Представим себе различные небесные объекты, распределенные в этой вселенной соответственно их расстояниям от нас. Оставляя совершенно в стороне тела, значительно меньшие нашей Земли, мы первое место должны дать планетам Венере и Марсу, которые подходят к нам на расстояние 41 и 56 миллионов километров соответственно. Затем идет Меркурий с наибольшим приближением до 75 миллионов

километров и Солнце со 150 миллионами. Остальные планеты находятся на расстояниях, доходящих до 4 500 миллионов километров, — радиуса орбиты Нептуна.

Но дальше идет огромный пробел. Первыми объектами за этим пробелом являются слабая звезда *Proxima Centauri* (Ближайшая Кентавра) на расстоянии 38 миллионов миллионов километров или 8 000 слишком расстояний Нептуна и, близко к ней, α Кентавра на расстоянии 40 миллионов миллионов километров. Дальше по порядку идут слабая красная звезда Мюнхен 15 040¹ на расстоянии 58 миллионов миллионов и другая слабая звезда Лаланд 21 185² на расстоянии около 75 миллионов миллионов километров. Таким образом, наши ближайшие соседи из звезд находятся от нас почти ровно в миллион раз дальше, чем наши ближайшие соседи из планет. За ними идет Сириус, самая яркая звезда неба, на расстоянии 80 миллионов миллионов. Затем идет непрерывный ряд объектов, пока мы не достигаем расстояний, в 20 слишком тысяч раз больших, чем расстояние Сириуса; но еще задолго до того, когда мы доходим до этих расстояний, к звездам примешиваются другие объекты, спиральные и сфероидальные туманности и, наконец, шарообразные звездные кучи. Самым далеким предметом, расстояние которого известно с некоторой достоверностью, является звездная куча N. G. C. 7 006³, которую оценка Шоплея помещает в 25 тысячах расстояний Сириуса. Это скопление так далеко, что свет от него до нас должен идти 200 000 лет; свету нужны сотни лет даже для того, чтобы пролететь чрез это скопление. По всем видимостям звездное облако N. G. C. 6 822 находится еще дальше. По Шоплею его расстояние составляет около шести миллионов миллионов миллионов километров, — расстояние, на прохождение которого свету нужен миллион лет. Поскольку в настоящее время

¹ Т. е. звезда № 15 040 по каталогу Мюнхенской обсерватории.

² Звезда № 21 185 по каталогу Lalande, *Histoire céleste*.

³ Объект № 7 006 по каталогу Dreyer, *New General Catalogue of Nebulae and Clusters*.

известно, это приводит нас к концу нашей вселенной, — быть может, следовало бы сказать: приводит нас назад к началу.

Нелегко отчетливо сопоставить сразу все эти различные расстояния как бы в одном фокусе, но попытаемся сделать это. Земля обращается вокруг Солнца со скоростью около 30 километров в секунду. Если мы представим орбиту Земли — за год она описывает орбиту приблизительно в тысячу миллионов километров в окружности — булавочной головкой с поперечником около полумиллиметра, то Солнце будет невидимой пылинкой, а Земля ультрамикроскопической частицей в одну сорокатысячную миллиметра в диаметре. Орбита Нептуна, охватывающая всю солнечную систему, будет иметь размеры серебряного гривенника, тогда как расстояние до ближайшей звезды, Proxima Centauri, будет около 68 метров, а до Сириуса около 145 метров. В том же масштабе расстояние далекого звездного скопления N. G. C. 7 006 составляло бы 3 850 километров, а расстояние звездного облака N. G. C. 6 822 около 20 тысяч километров, так что, грубо говоря, вся вселенная была бы представлена нашей Землей.

Отсюда видно, что мы теперь рассматриваем происхождение и прошлую историю системы, которая находится в таком же отношении ко вселенной, как гривенник к нашей Земле. Почему же нас интересует именно гривенник? Во-первых, потому, что это, хотя и мелочь, но наша собственная система, или, по крайней мере, нашей собственностью является частица ее поперечником в одну сорокатысячную миллиметра. Но для этого интереса есть и историческое основание менее сентиментального рода. Мы уже отметили громадность пробела между нашей системой и ее ближайшими соседями. Поскольку дело касается астрономии, понадобилось много времени, чтобы перешагнуть через этот пробел. Еще в последнем столетии — и довольно долго в нем — человеческое знание дальнего берега этого пробела было бесконечно мало; звезды едва ли были больше, чем точками света, которые окрестили „неподвижными

звездами". В те времена задача космогонии неизбежно сводилась к вопросу о происхождении нашей собственной системы.

Недавние исследования изменили все это, и современный астроном знает уже очень много о природе, строении и движениях различных тел вне нашей системы. Сто лет тому назад космогоник мог утверждать, что солнечная система развилась таким-то образом, не опасаясь что его теории будут разрушены сравнением с другими системами. Но когда я начну излагать вам теперь теорию происхождения нашей системы, вы сейчас же станете исследовать с предлагаемой точки зрения 1500 миллионов, или около того, систем по ту сторону пробела. Проходят ли они такой же эволюционный путь, как и наша система? и если нет, то почему нет? Будет уместно поэтому начать с этих других систем.

Среди этих 1500 миллионов, или около того, объектов есть несколько сравнительно небольших классов, природа и истолкование которых все еще остаются загадочными: планетные туманности, кефеидные переменные, переменные долгого периода, как *Mira Ceti* (Дивная Кита), и несколько других. Если исключить эти объекты, то практически все известные нам тела можно распределить в один непрерывный ряд. Этот ряд приблизительно представляет собою ряд повышающихся плотностей: он начинается туманностями почти невероятной разреженности и кончается твердыми звездами с плотностью железа. Едва ли можно сомневаться в том, что этот ряд является эволюционным рядом, ибо законы физики требуют, чтобы плотность тела при излучении тепла увеличивалась, — по крайней мере, до того предела, до которого она может расти. Мы начнем наш обзор с самой далекой точки, до которой мы можем дойти в нашей эволюционной цепи, — с туманностей.

Если исключить загадочные „планетные“ туманности, то остальные туманности распадаются на два довольно отчетливо разделяющиеся класса, которые кратко можно описать, как туманности правильной и неправильной формы.

Туманности неправильной формы включают такие объекты, как большая туманность Ориона и туманность, окружающая Плеяды. До самого последнего времени предполагали, что эти неправильные туманности имеют большое эволюционное значение. Было замечено, что обыкновенно они находятся в связи с звездами самой высокой температуры; отсюда возникла простая до красоты космогония, утверждавшая, что эти звезды чрезвычайно высокой температуры и были непосредственным продуктом сгущения туманностей, и что их дальнейшая жизнь состоит просто в постепенном охлаждении, пока они не станут совершенно холодными. Эта космогония была слишком проста, чтобы быть долговечной, — лет десять тому назад она была погребена исследованиями Рёсселла, Гертцшпрунга и других. Благодаря этим исследованиям мы теперь знаем, что звезды чрезвычайно высокой температуры, связанные с неправильными туманностями, не только не являются новорожденными, но стоят на высшей точке своего жизненного пути, ожидая своего падения к старости.

Масса нагретого газа, изолированная в пространстве, излучает тепло, и это излучение заставляет ее сжиматься. Если бы эта масса излучала, не сокращаясь, она, конечно, становилась бы холоднее; с другой стороны, если бы она сокращалась, не излучая, она становилась бы более горячей. Но когда излучение и сжатие идут рядом, то без математического исследования нельзя сказать, которое из этих двух стремлений возобладает. В 1870 г. Гомер Лэн показал, что масса газа достаточно низкой плотности, чтобы приблизительно подчиняться обычным законам газов, в действительности, излучая теплоту, должна становиться горячее. Охлаждение не начинается до тех пор, пока не достигается плотность, когда законы газов уже начинают терять силу, — т. е. когда уже недалеки ожижение и отвердевание. Итак, мы видим, что максимальная температура соединяется со средним возрастом звезды, — возрастом, когда звезду уже нельзя считать совершенным газом. В этом периоде среднего возраста поверхностная температура звезды может достигать приблизительно до $25\,000^{\circ}\text{C}$, тогда

как температура в ее центре будет достигать миллионов градусов. Ее средняя плотность будет, вероятно, чем-нибудь вроде одной десятой плотности воды. Пока мы еще не знаем, почему звезды с этой специальной максимальной температурой так часто бывают связаны с неправильными туманностями. Быть может, только звезды с такими чрезвычайно высокими температурами в состоянии освещать окружающую туманность, которая иначе остается невидимой. Как бы то ни было, довольно ясно, что эти неправильные туманностные массы не являются существенной частью эволюционной цепи. Вероятно, это просто побочные продукты и, как на таковых, мы можем больше не останавливаться на них.



Рис. 1. Туманность правильной формы (N. G. C. 3115)

Теперь обратимся к туманностям правильной формы. Значительное число их представляется нам кружками или эллипсами, причем некоторые из них кажутся вытянутыми на концах больших осей эллипса, иногда почти до острия. Пример этого последнего типа представлен на рис. 1 (туманность N. G. C. 3115).

Некоторое число этих туманностей правильной формы было исследовано спектроскопически, и во всех этих случаях оказалось, что эти туманности вращаются с большими скоростями вокруг оси, представляющей на небе наименьшим поперечником туманности. Математик может вычислить, какие формы примут вращающиеся массы разреженного газа. Если бы вращения совершенно не было, то, конечно, такая масса

приняла бы сферическую форму. При медленном вращении она имела бы форму сжатого сфероида с небольшой эллиптичностью,— форму апельсина, как наша Земля. При более значительном вращении сфероидальная форма искажается, экватор выпячивается все больше и больше, пока, наконец, при очень быстром вращении масса не принимает приблизительно формы двояковыпуклой линзы, имеющей острый круговой край по экватору,—той формы, которую в действительности имеет туманность, показанная на рис. 1. Весь ряд таких фигур, взятых со всех возможных точек зрения, будет представлять в точности ряд тех форм, в которых являются нам рассматриваемые правильные туманности. Таким образом, имеются хорошие основания предполагать, что эти туманности представляют собою вращающиеся массы газов; но мы можем еще проверить это предположение, прежде чем окончательно принять его.

Масса газа, излучающая свою энергию вовне, должна сжиматься. Если она вращается, то ее количество вращательного движения остается постоянным, и сжавшаяся масса может сохранить свою первоначальную долю этого движения, вращаясь быстрее, чем раньше. Это представление, являвшееся краеугольным камнем космогоний Канта и Лапласа, имеет основную важность и для нынешнего космогоника. Таким образом, каждая туманность, старея, будет вращаться все быстрее и быстрее и, если отбросить случайности, в надлежащем порядке придет к форме, показанной на рис. 1. Эта форма отмечает замечательную эпоху в эволюционном развитии туманности. До достижения этой формы влияние сжатия должно уравниваться, и оно уравнивается простым изменением формы; масса имеет прежний угловой момент, несмотря на уменьшение размеров, благодаря простому ускорению вращения и восстанавливает равновесие, вздуваясь около экватора. Но математический анализ показывает, что это невозможно, раз будет перейдена упомянутая выше межа. Дальнейшее сжатие теперь создаст действительный разрыв туманности, и избыток углового момента над тем, каким мо-

жет обладать сжавшаяся масса, отбрасывается в пространство путем извержения вещества с экватора туманности.

До сих пор мы предполагали, что экватор туманности имеет круглую форму, как это, несомненно, и было бы, еслибы туманность была в пространстве одна. Но действительная туманность должна иметь соседей, и эти соседи будут поднимать на ее поверхности приливы совершенно так, как Солнце и Луна поднимают приливы на поверхности вращающейся Земли. Каковы бы ни были эти соседи, всегда будут две точки высокого прилива, антиподно противоположные друг другу, и две точки низкого прилива в промежутках между двумя точками высокого прилива. Таким образом, экватор, вместо того чтобы быть строго круговым, будет иметь слегка эллиптическую форму.

Еслибы экватор туманности был совершенным кругом, и еслибы туманность была во всех отношениях симметрична относительно своей оси вращения, выбрасывание вещества должно было бы начаться одновременно со всех точек экватора. В самом деле, нельзя представить себе оснований, почему оно должно было бы начаться в какой-нибудь одной точке предпочтительно пред всякой другой. Но в природе нельзя ожидать найти совершенное равновесие такого рода; если главные факторы будут в точности одинаковой силы, какой-нибудь совершенно незначительный фактор непременно вмешается и перетянет весы в ту или в другую сторону. В настоящей задаче не было бы различия между одной точкой экватора и другой, еслибы эти различные меньшие факторы отсутствовали, но когда эти меньшие факторы вступают в дело, сейчас же происходит известное разделение. Делая правдоподобное, кажется, допущение, что приливные неправильности являются теми меньшими факторами, которые определяют выбор точек выбрасывания вещества, можно математическим исследованием показать, что выбрасывание вещества должно происходить из двух антиподных точек экватора, где прилив выше всего. И так как экватор слегка эллиптичен, то этими точками, конечно, являются концы его

большой оси. После того как туманность прошла критическую точку, показанную на рис. 1, ее форма должна быть сходна с чечевицеобразной фигурой, которая отмечает этот переход, с тем, однако, добавлением, что из двух антиподных точек ее экватора истекает вещество.



Рис. 2. Туманность правильной формы (N. G. C. 5866) с полосой темного вещества по экватору

Этими словами в точности описывается то, что мы наблюдаем в спиральных туманностях. Рис. 2 (N. G. C. 5866) представляет туманность, в которой выбрасывание вещества

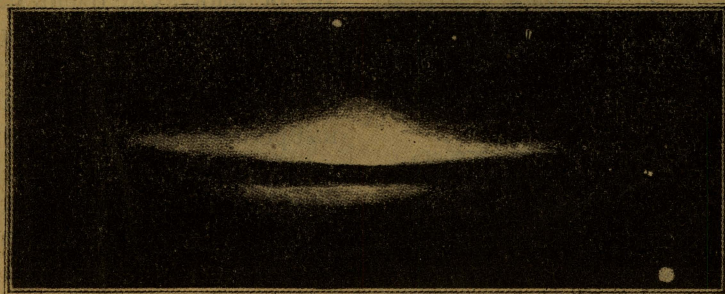


Рис. 3. Туманность правильной формы (N. G. C. 4594) с кольцом темного вещества по экватору

только что начинается; мы видим вздутие вдоль экватора и темную полосу, которая, можно думать, представляет выброшенное вещество, уже охлаждающееся. Рис. 3 (N. G. C. 4594)

представляет дальнейшую стадию развития, а рис. 4 (N.G.C. 891) еще более позднюю, когда выброшенное вещество уже уменьшает размеры центрального ядра, хотя, вероятно не всей его массы.

На всех этих рисунках мы видим туманности почти с ребра. Рис. 5 (M 51¹) показывает хорошо известный „вихрь“



Рис. 4. Спиральная туманность (N. G. C. 891), видимая с ребра

в Гончих Собаках (Canes Venatici),—туманность, быть может, очень сходную физически с изображенной на рис. 4, но видимую нами еп face: мы глядим на нее вдоль ее оси вращения. И здесь опять центральное ядро занимает только небольшую часть всего изображения. Рисунки 6 (M 101) и 7 (M 81), стр. 12 и 14, показывают две туманности, эволюция которых ушла еще дальше,—настолько, что в последней из них осталось уже очень мало ядра, и значительно большая часть того, что мы видим, является, как мы думаем, выброшенным веществом.

У обеих последних туманностей мы видим потоки

выброшенного вещества, исходящие из двух антиподных точек, точно так, как того требует динамическая теория туманностей². До сих пор мы говорили о веществе в этих ветвях, как выброшенном, так как на такое истолкование наводила нас теория, но мы не должны непременно удовлетворяться теорией:

¹ Объект № 51 каталога туманностей Messier.

² Теория эволюции туманностей, предложенная самим Джэнсом.

имеются по этому вопросу и прямые указания наблюдений. Различные астрономы, в особенности Ван-Маанен, открыли движения в ветвях нескольких туманностей, в том числе и тех трех, которые изображены на рис. 5, 6 и 7. Их наблюдения показывают, что ветви туманностей действительно являются потоками вещества, исходящего из ядра. Рис. 8 показывает движения, найденные Ван-Мааненом для 100 прибли-

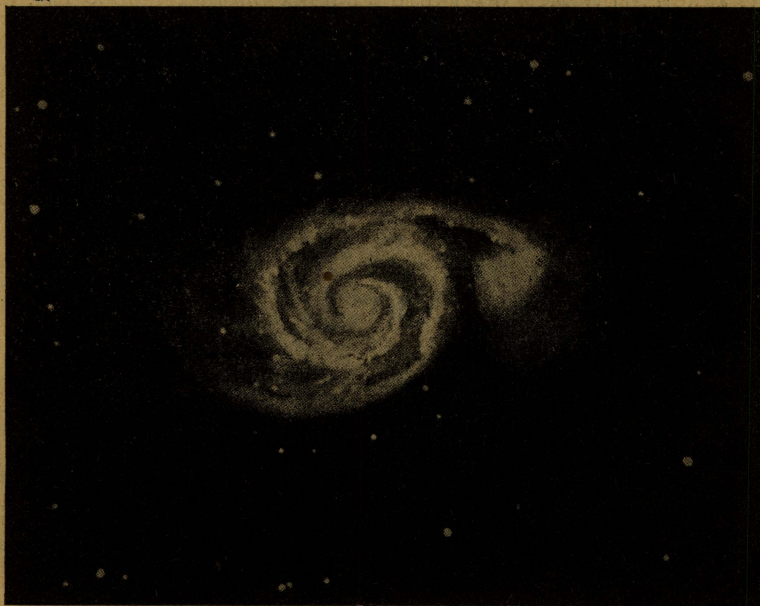


Рис. 5. Спиральная туманность в Canes Venatici (M 51)

зительно точек туманности М 81, причем стрелки указывают движение за период 1300 лет *; измерения различных других туманностей дают в существенном такие же результаты; вы видите отсюда, как мало остается места для сомнения, что эти ветви состоят из вещества, вытекающего из ядра. Определяя действительные скорости этого истечения, нашли, что

* Точками, окруженными небольшими кружками, отмечены звезды, которые нужно считать не имеющими физической связи с туманностью.

в туманности М 51 (рис. 5) частица потока совершает полный оборот около ядра приблизительно в 45 000 лет; в М 81 (рис. 7) соответствующая цифра составляет 58 000 лет, а в М 101 (рис. 6) около 85 000 лет. На основании этих чисел возможно сделать оценку плотности вещества в ядре. Было найдено, что эти плотности должны быть порядка 10^{-16} г на кубический сантиметр, что представляет более совершенный вакуум, чем тот, какой мы можем получить в наших лабораториях. Если бы

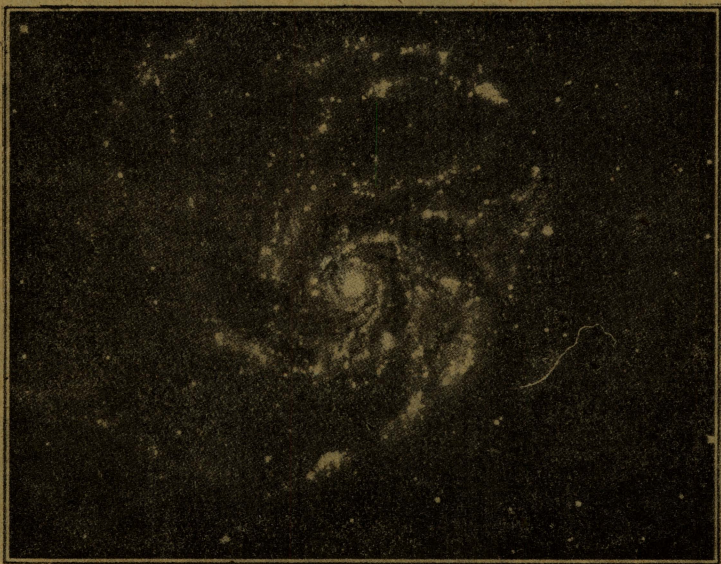


Рис. 6. Спиральная туманность в Ursa Major (М 101)

то небольшое количество газа, которое заключается в обыкновенной электрической лампочке, было рассеяно в пространстве собора Св. Павла¹, оно было бы еще приблизительно в 10 000 раз плотнее ядра спиральной туманности.

Туманность, изображенная на рисунке 4, имеет на своих ветвях оборванный или зернистый вид. В М 51 (рис. 5) мы

¹ Лондонский собор St. Paul's имеет приблизительно 150 м в длину, 35 м в ширину и немного менее 70 м в высоту (внутри).

находим отчетливые сгущения, а во внешних частях М 101 (рис. 6) и М 81 (рис. 7) эти сгущения развились дальше в отдельные точки света, почти аналогичные звездам.

Когда газ входит в вакуум из простого отверстия, он немедленно распространяется на все доступное ему пространство. Почему же не происходит то же самое с потоком газа, исходящего из экватора туманности? Объяснения этому надо искать в том гигантском масштабе, в котором происходит последний процесс. Когда мы увеличиваем шкалу этого явления, взаимное гравитационное притяжение частиц газа становится все более и более значительным, пока, наконец, при достижении размеров туманности гравитация не начнет преобладать над расширительным влиянием давления газа и не будет в состоянии удерживать поток как бы в одном русле. Но как только это случится, по предсказанию динамической теории должно обнаружиться другое явление. Что касается распределения плотности вдоль такого „волокна“ (filament), то влияние газового давления направлено в сторону того, чтобы плотность распределялась равномерно, тогда как действие тяготения будет стремиться сгустить этот поток в компактные глобулы. Когда мы подходим к размерам туманностей, последнее стремление преодолевает, и вытекающая струя газа разбивается на капли, как это делает струя воды, вытекающей из отверстия, хотя и по совершенно иным физическим основаниям. На фотографиях, воспроизведенных на рис. 4, 5, 6 и 7, мы можем проследить ход этого процесса.

Динамическая теория не только предсказывает, что эти газовые глобулы должны образоваться, но дает нам также возможность вычислить их размеры, массу и взаимное расстояние. Сравнение их расстояний друг от друга в километрах и их угловых расстояний, наблюдаемых на небе, сейчас же дает нам возможность сделать оценку расстояния туманности, которой они принадлежат. К нашему удовольствию оказывается, что оценки расстояний туманностей, вычисленных таким способом, хорошо согласуются с оценками, сделанными иным путем. Вычисление масс этих

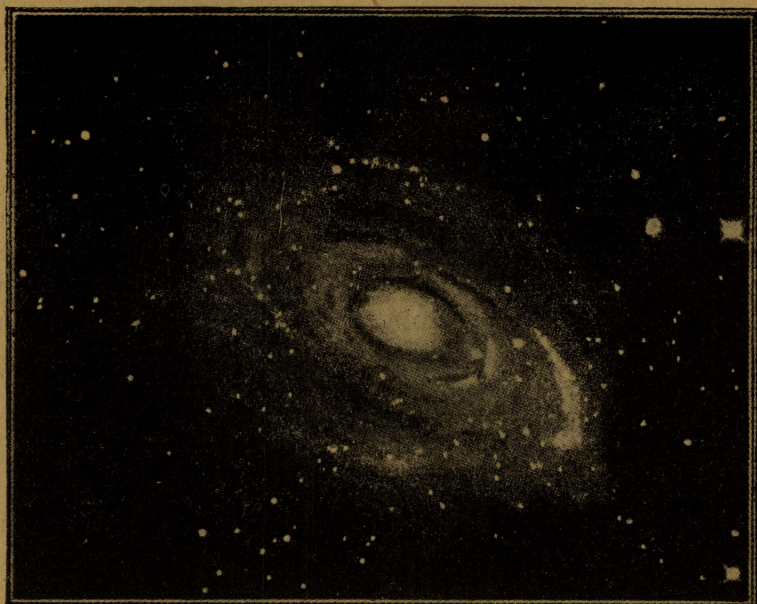


Рис. 7. Спиральная туманность в Ursa Major (M 81)

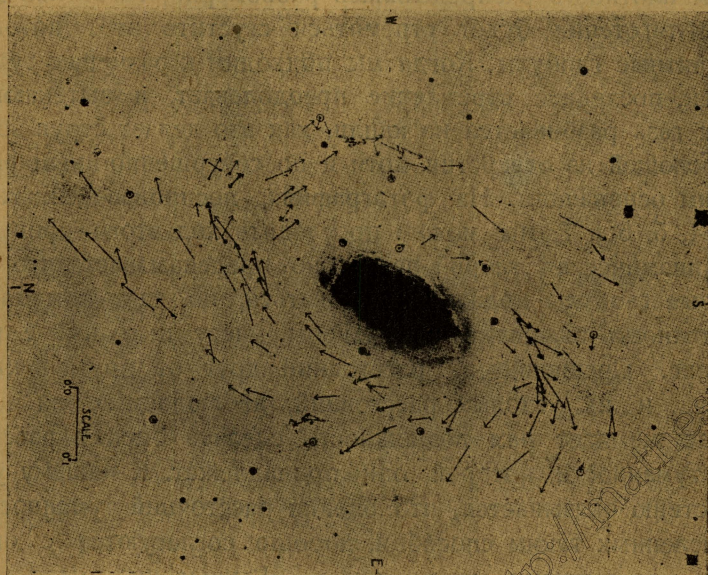


Рис. 8. Движения в ветвях спиральной туманности M 81

сгущений приводит к еще более интересному и многозначительному результату: во всех туманностях, для которых можно было сделать это вычисление, вычисленная масса отдельного сгущения оказывается приблизительно равною массе средней звезды.

Это дает, мне кажется, ключ к этому эволюционному процессу, который мы рассматривали,—мы наблюдали создание звезд. На рис. 1 мы видели сырой материал,—газовую массу чрезвычайной разреженности, уже в результате сжатия и последующего ускорения вращения дошедшую до той стадии, когда готово начаться дробление. Происходит дальнейшее сжатие, и на рис. 2 и 3 мы видим выбрасывание газовых струй, из которых дальше будут надлежащим образом создаваться звезды. На рис. 4 и 5 начинают образовываться отдельные звезды, хотя пока только в виде неопределенных сгущений, в которых еще находится сплошная туманностная масса. Наконец, самые внешние части на рис. 6 и 7 дают нам окончательный продукт, отдельные массы, хотя все еще гораздо более разреженные, чем обыкновенные звезды, начинающие независимое существование. Каждая из этих масс пройдет через те изменения, которые мы только что вкратце описали. Она будет сокращаться, в то же время нагреваясь, пока не достигнет максимальной температуры,—как раз в то время, когда законы газов начинают терять силу, после чего она будет охлаждаться и, наконец, сожмется в темную мертвую массу.

Семья звезд, рожденных из одной туманности, может считать своих членов миллионами. Они могут либо смешаться с общей массой звезд, либо же, если исходная туманность была достаточно далека от главной вселенной звезд, могут образовывать отдельную колонию сами по себе. Примерами первой альтернативы могут быть группы звезд, которых мы знаем несколько, например, Плеяды, звезды Большой Медведицы, где все члены имеют общую скорость, а также, говоря вообще, и одинаковое физическое строение. Все звезды такой группы стремятся через пространство вместе и, очевидно,

делали это с тех пор, как впервые возникли. Примерами другой возможности образования отдельной колонии звезд, быть может, являются так называемые „шаровые звездные кучи“ вроде хорошо известного скопления в Геркулесе (рис. 9). Шаровыми они являются только по имени, ибо, как

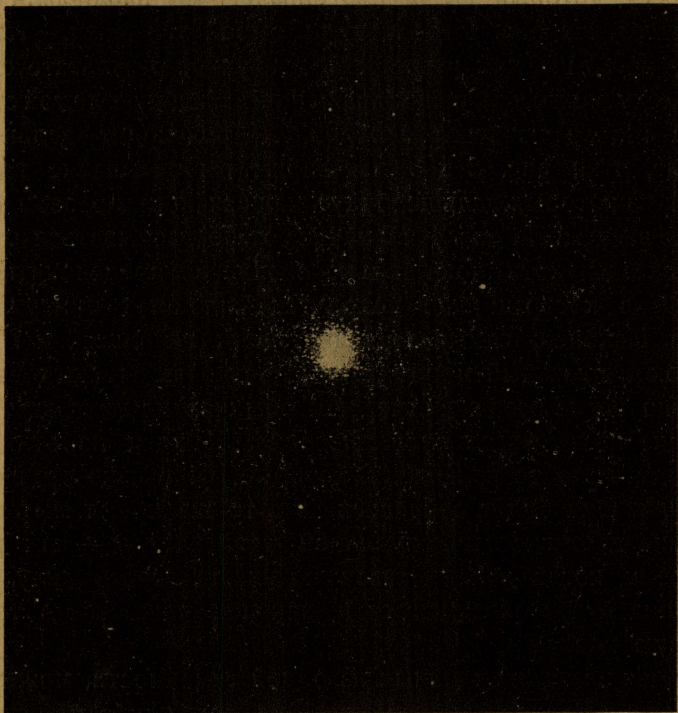


Рис. 9. Звездная куча (М. 13) в Геркулесе

нашел Шаплей, на самом деле они имеют эллиптическое строение, симметричное по отношению к известной плоскости, как этого и следовало бы ожидать, если бы они были конечным продуктом вращающейся туманности.

Вероятно, мы не должны рассматривать две только что упомянутые возможности, как резко разграниченные альтер-

нативы. Скорее они представляют два крайних конца непрерывной цепи возможных историй групп звезд, рожденных от одной туманности. Представляется вполне возможным, что то, что мы называем „главной массой звезд“, является ничем иным, как собранием звездных скоплений, из коих каждое произошло от отдельной туманности. В настоящее время эти скопления так перемешались, что трудно считать их различными группами звезд, хотя все еще можно найти указания на то, что мы имеем полное право смотреть на них так. В 1905 году Каптейн показал, что звезды в соседстве Солнца образуют то, что он описал, как два „звездных потока“, причем каждый такой поток движется в пространстве со своей особой скоростью. Если устранить вопрос о размерах этих потоков в пространстве, то было бы столь же верно описать их образующими два смешавшихся движущихся скопления. Вскоре после того Эддингтон и Гальм, независимо друг от друга, нашли третий поток или движущееся скопление, состоящее из звезд очень высокой температуры, по астрономической классификации типов В и О. В этом случае мы знаем размеры скопления в пространстве и его приближенную форму. Согласно Шарлье оно имеет форму круглого бисквита, лежащего параллельно Млечному Пути, диаметр которого приблизительно в 2·8 раз больше его толщины. Всякое скопление звезд, имеющих общее происхождение, какую бы форму оно ни приняло в начале, скоро потеряет эту форму, когда начнет смешиваться с другими звездами. Динамическая теория показывает, что такое скопление, выброшенное почти в бесконечность в нашей звездной вселенной, должно принять форму круглого бисквита, параллельного Млечному Пути, с отношением поперечника к толщине около 2·5:1. Это достаточно хорошо согласуется с тем, что мы наблюдаем, чтобы наводить на мысль, что все звезды этого потока имеют общее происхождение; то же будет верно и для многих из известных нам менее значительных движущихся скоплений, вроде упомянутого уже скопления в Ursa major. Таким образом, хотя мы

не можем претендовать на то, что мы что-нибудь определенно доказали, мы имеем все основания думать, что главная масса звезд представляет собою кучу перемешанных движущихся скоплений, из коих каждое произошло от отдельной туманности. Эта возможность не имеет непосредственного отношения к вопросу о происхождении нашей солнечной системы; мы упомянули о ней только ради полноты наших представлений о том, что представляется главным эволюционным процессом в звездах.

Во всех своих частностях, за исключением одной, этот эволюционный процесс аналогичен, а в своих первых стадиях почти тождествен с тем процессом, который начертал для происхождения солнечной системы Лаплас в своей знаменитой туманностной гипотезе. Перед нашими глазами проходила вращающаяся и сжимающаяся туманность, в конце концов выбрасывающая вещество со своего экватора; мы видели сгущение этого вещества в отдельные массы и, в конце концов, наблюдали, как эти отдельные массы пускались в свое путешествие в пространстве точно так, как рисовал это Лаплас.

Единственную существенную разницу здесь составляет различие в размерах. Эволюционный процесс, который мы рассматривали, происходит в таком масштабе, о каком Лаплас никогда не мечтал. Первичная туманность, по его мнению, должна была иметь размеры орбиты Нептуна, а при том масштабе, которым я воспользовался в начале этой лекции,—размеры гривенника. В том же масштабе одно только ядро спиральной туманности средних размеров было бы величиною приблизительно с Альберт-Голл, тогда как ветви ее раскидывались бы надо всем Гайд-парком и Кенсингтоном¹. Изображения тех туманностей, которые вы видите здесь, должны были бы быть увеличены до размеров целой страны, а может быть, даже до размеров целого

¹ Огромный крытый Лондонский амфитеатр Albert Hall, могущий вместить до 8 000 зрителей, занимает площадь в 81×72 м, а район Hyde Park и Kensington имеет около 4 км в поперечнике.

Прим. ред.

материка, прежде чем в них стало бы видимым тело с размерами нашей Земли.

Хотя исходные туманности, которые мы рассматривали, все несравненно больше воображаемой туманности Лапласа, но каждое незначительное сгущение, выбрасываемое в пространство, представляет собою газообразную туманность, масса которой очень близка к массе туманности Лапласа, как не очень различны в них, быть может, и размеры. Таким образом, если это второе поколение туманностей встретит в своей жизни те же условия, какие встретили их гигантские родители, то нам не пришлось бы долго искать объяснения происхождения планет, а еслибы это третье поколение снова прошло через условия своих предков, то объяснилось бы и происхождение спутников планет. Но математическое исследование и наблюдение сходятся на отказе от этого столь простого объяснения происхождения солнечной системы. Как мы видели, только потому, что волокна в спиральных туманностях имеют такие громадные размеры, тяготение и могло создавать сгущения, преодолевая расширительную тенденцию газового давления. Туманность, сравнимая по массе с нашим Солнцем, могла бы пройти тот же цикл, что и большая туманность, до тех пор, пока не началось бы выбрасывание вещества с ее экватора, но отсюда уже разница в масштабе начала бы сказываться, и дальнейший ход событий был бы совершенно иной. Выброшенное вещество не могло бы сгущаться в волокна, еще меньше в отдельные глобулы; оно просто образовало бы рассеянную атмосферу вокруг родительской туманности. При сжимании такой системы, благодаря излучению, постоянство количества вращательного движения прежде всего просто требовало бы, чтобы все большее и большее количество газа переносилось от центра в атмосферу.

Но математическое исследование показывает, что с течением времени, после того как туманность сжалась до определенной критической плотности, быть может, чего-нибудь около одной десятой плотности воды, должен был бы на-

ступить период катаклизм, из которого эта масса должна была бы выйти в виде двойной звезды,—двух звезд сравнимой массы, обращающихся одна вокруг другой, почти соприкасаясь и почти по круговым орбитам. Астроном-практик хорошо знаком с такими образованиями. Он находит, что очень большая доля, быть может, около половины, звезд на небе являются двойными, и среди этих двойных звезд он может подметить эволюционную последовательность. Этот ряд начинается только что описанным образованием, где две составляющие звезды почти соприкасаются. В дальнейшем ряду звезды расходятся все больше, а эксцентриситеты их орбит увеличиваются. Теория указывает, что процесс расщепления, который разделил начальную звезду на две составляющих, может повторяться в одной или в обеих составляющих, так что в конечном результате мы можем иметь „кратную“ звезду с тремя или четырьмя составляющими. Проф. Г. Н. Рёсселл, исследуя этот вопрос теоретически, нашел, что между относительными расстояниями различных составляющих кратной звезды должны существовать определенные численные соотношения; он показал также, что эти предсказания теории количественно подтверждаются и наблюдением.

Таким образом, пока теория и наблюдение шли рука об руку. Мы проследили эволюцию астрономического вещества чрез стадии постоянно возрастающей плотности от самых разреженных туманностей до самых плотных кратных звезд, и почти в каждой стадии наблюдение подтверждало предсказания теории. Не все астрономическое вещество пройдет весь путь этой эволюции. Движущей силой на этом пути является ускорение вращения от сжатия, производимого испусканием лучей. Когда это сжатие прошло уже некоторую часть пути, начинается отвердевание; теперь вращение уже не может больше увеличиваться, и эволюция в физическом смысле останавливается. Длина пути, который пройдет каждая отдельная система, зависит, в конце концов, от количества вращения, которое она первоначально получила в дар. Еслибы туманность начинала свою жизнь абсолютно без вра-

щения, то она оставалась бы сферической во всю свою жизнь, заканчивая ее просто, как холодная, не излучающая, но неизменно сферическая масса. Такая туманность даже никогда бы не отошла от начальной точки. Правда, это является мало вероятным, но по тому, что мы знаем, многие туманности могут охладиться и умереть, не успев достичь той критической формы (рис. 1), при которой впервые начинается зарождение звезды. Аналогично, многие звезды могут охладиться и таким образом перестать развиваться, никогда не достигая той стадии, при которой образуются двойные системы. Таким же образом многие двойные системы могут не развиваться в системы кратные. Здесь снова наблюдение идет с нами: известно вдесятеро большее число двойных систем, чем кратных, перешедших уже по ту сторону стадий двойной звезды. Теория проследила для нас весь этот эволюционный ход, но теория и наблюдение сходятся на том, что немногие системы проходят весь этот путь.

Теперь мы переходим к центральному пункту всего вопроса. Нигде на указанном пути мы не находим нашей солнечной системы или чего-нибудь, хоть немного похожего на нее. Если бы наше Солнце не сопровождалось планетами, то не было бы никаких затруднений разгадать его происхождение. Мы бы с правом могли предполагать, что оно родилось из туманности нормальным путем, но что оно родилось с недостаточным вращением для того, чтобы пройти дальнейшие стадии расщепления в двойную или в кратную систему. Мы могли бы даже предполагать, что оно прошло тот же эволюционный путь, какой прошла половина звезд на небе. В подкрепление предположения, что наше Солнце родилось из туманности обычным путем, мы могли бы привести, что его масса приблизительно равна тому, что по нашим вычислениям должно быть массой звезды, рожденной из туманности, и если отбросить планеты, оно во всех отношениях сходно с миллионами других звезд, которым мы можем приписать происхождение из туманности. В подтверждение догадки, что оно рано остановилось на своем эволюционном пути вслед-

ствие недостатка вращения, которое повело бы его дальше, мы могли бы просто отметить медленность его нынешнего вращения. Простой расчет показывает, что Солнце обладает лишь небольшой долей момента количества вращения, нужного для расщепления. Даже если бы мы прибавили сюда момент количества обращения всех планет, как это следовало бы в предположении, что когда-то они составляли часть Солнца, результат был бы тот же: вся эта система никогда не обладала больше, чем незначительной долей момента количества вращения, необходимого для разрыва, под действием вращения, в двойную звезду.

Таким образом, Солнце является совершенно понятным строением. Трудность нашей задачи лежит не в происхождении Солнца, а в происхождении планет и их спутников.

Выше было уже упомянуто несколько особых типов астрономической структуры, не находящих себе места в главной линии эволюционного развития. Этими частными примерами были планетные туманности, кефеидные переменные и переменные долгого периода. Теперь возникает вопрос: не следует ли дополнить этот список и солнечной системой? То обстоятельство, что некоторые структуры не находят себе места в главной линии эволюции, наводит на мысль, что в стороне от этой главной могут быть боковые линии, по которым, при известных условиях, и может направиться развитие системы. Собственно говоря, только это и можно предположить. Нет никаких оснований ожидать, что две звезды должны подвергнуться на своем жизненном пути совершенно одинаковым случайностям, как нельзя ожидать этого и для двух людей. Мы предполагали, что наша нормальная звезда развивалась в своей собственной вселенной, где момент ее количества движения оставался постоянным и где ей несколько не мешали ее соседи. Математик находит удобным отвести каждой звезде всю бесконечную вселенную, но природа не может сделать это. Тем не менее, те условия, которые предполагает математик, в данном случае ближе к действительности, чем это слишком часто бывает в его идеали-

зованных задачах. В том масштабе, которым мы уже пользовались и в котором Солнце представлялось микроскопической частицей в $1/400$ миллиметра в диаметре, крупнейшую из известных нам гигантских звезд можно представить булавочной головкой около миллиметра в поперечнике. Распределение звезд в пространстве таково, что в указанном масштабе придется меньше одной звезды на объем, равный внутренности собора Св. Павла. Нельзя сказать, чтобы пространство было загромождено, и хотя возможно, что звезды в своих движениях могут возмущать друг друга, ясно, что сколько-нибудь серьезное возмущение одной звезды другою должно быть событием довольно исключительным. Конечно, мы имели право считать эволюцию звезды, идущую без всякого возмущения со стороны соседей, нормальным ходом эволюции, и мы теперь можем видеть, почему огромное большинство звезд идет именно этим нормальным путем.

По всем видимостям, число звезд, сошедших с этого нормального пути, чрезвычайно невелико. Общее число звезд на небе приблизительно равно числу всех людей на Земле; число известных нам исключительных систем, в крайнем случае, могло бы составить население одного маленького города, хотя, конечно, мы едва ли можем строить даже предположения о числе исключительных систем, нам пока еще неизвестных. Нет оснований предполагать, что сбивающее с пути влияние во всех случаях исходит от соседней звезды, но заведомо исключительных систем достаточно мало, чтобы предполагать, что это могло быть действительной причиной в значительной доле случаев.

Непосредственный вопрос перед нами, однако, не есть общий вопрос об исключительных системах, но вопрос о нашей собственной солнечной системе. Увлекла ли ее с главного пути эволюционного развития какая-нибудь соседняя звезда? Здесь первый раз наблюдательная астрономия совершенно отказывается помочь нам. Помимо нашей солнечной системы мы не знаем ни одной, хотя бы в малейшей степени на нее похожей. Причина этому лежит не в том,

что такой системы нет, но в том, что если бы она и была, мы не могли бы ее увидеть. Астроному, наблюдающему нашу систему с далекой звезды, Юпитер представлялся бы самым ярким после Солнца объектом, но отношение их яркостей было бы равно отношению трехсот миллионов к одному. Наблюдателю на ближайшем нашем соседе в пространстве, нам известном, Proxima Centauri, Солнце представлялось бы звездой первой величины, а Юпитер звездой величины 22.2, причем расстояние между ними не превышало бы четырех секунд дуги. Звезда 22.2-ой величины лежит за пределами видимости самых больших наших телескопов и была бы еще вдвойне невидима, имея в соседстве звезду первой величины на расстоянии всего четырех секунд. Нам приходится дожидаться еще огромного увеличения силы наших телескопов, прежде чем мы сможем питать какую-нибудь надежду увидеть на небе системы, подобные нашей, даже если они существуют немногим дальше от нас, чем Proxima Centauri. Таким образом ясно, что наше рассуждение покинуло те области, в которых можно обращаться к наблюдению за новыми предположениями или для проверки выводов,—отсюда нас может вести дальше только теория.

Мы начнем этот путь, заметив, что наша солнечная система обладает совершенно отчетливыми особенностями. Это не простая груда тел, соединившихся как-то случайно,—если бы она имела такой вид, задачу о ее происхождении можно было бы с правом оставить, как неразрешимую. Не только главная система Солнца и его планет получила отчетливые особенности, но те же самые особенности проявляются и в меньших системах, образованных Юпитером и Сатурном, каждым с его семьей спутников. Каждая из этих маленьких систем во всех отношениях является повторением в миниатюре солнечной системы,—настолько, что ни одну догадку о происхождении одной из этих систем нельзя признать удовлетворительной, если она в то же время не объяснит и происхождения двух других. Главными особенностями,

общими этим трем системам, являются те обстоятельства, что орбиты во всех этих трех системах, за немногими исключениями, лежат близко к одной плоскости, что все эти орбиты описываются в одном направлении и что массы вторичных тел, планет или спутников незначительны в сравнении с массами главных тел, вокруг которых они обращаются. Так, масса Солнца в 1047 раз больше массы наибольшей из планет Юпитера, тогда как масса Юпитера приблизительно в 11000 раз превышает наибольшую массу из его спутников. Наименьшее различие масс мы имеем в нашей собственной системе Земли - Луны, где отношение масс равно 81:1. В системах со многими спутниками (Солнца, Юпитера и Сатурна) замечается общая тенденция масс возрастать до максимума, если идти наружу, и затем снова убывать к минимуму. Так, в главной системе мы имеем правильную прогрессию Меркурия, Венеры, Земли, Марса к максимальной массе Юпитера, прерываемую только ненормальной величиной для Марса, а на убывающей стороне прогрессия Юпитера, Сатурна, Урана, Нептуна нарушается только тем, что Нептун на несколько процентов массивнее Урана.

Главная линия эволюционного хода, как мы предполагали, была эволюция массы сжимающегося вращающегося вещества, сначала газообразного, потом жидкого, затем твердого, предоставленной в пространстве самой себе. Такая система должна обнаружить очень отчетливую особенность во всей своей жизни, а именно плоскость симметрии. В самой первичной стадии, когда система представляет простой хаос независимых молекул, эта плоскость будет совпадать с тем, что математики называют „неизменяемой плоскостью“ системы. Позднее, когда эта масса принимает правильную форму вращающейся туманности, эта плоскость является экваториальной плоскостью туманности, тою плоскостью, в которой позднее появляются ветви и в которой начинают свой путь звездные сгущения. Симметрия спиральных туманностей по отношению к плоскостям их экваторов сама по себе сильно наводит на мысль, что они развились в их

нынешние формы, как вращающиеся тела, на деле невозмущаемые внешними влияниями.

Если бы наша солнечная система развилась из невозмущенной вращающейся массы, она тоже должна была бы иметь плоскость симметрии. И в самом деле, орбиты почти всех планет и их спутников лежат очень близко к одной плоскости, которая в этом отношении, конечно, является плоскостью симметрии. Но ось вращения Солнца не перпендикулярна к этой плоскости; Солнце в своем экваторе имеет собственную плоскость симметрии, которая наклонена к общей плоскости орбит под углом в 7° .

Существования этих двух различных плоскостей самого по себе достаточно, чтобы навести на мысль, что наша система не развивалась просто из невозмущенной вращающейся массы. Таким образом, восходя для нашей системы назад к ее рождению, мы естественно ищем эффектов, которых следовало бы ожидать от вращения плюс какое-то внешнее влияние. Как первое грубое приближение, естественно допустить, что плоскостью солнечного экватора отмечена плоскость вращения исходной системы, тогда как плоскость планетных орбит была каким-то образом определена внешним возмущением.

Из всех взаимодействий между двумя отдельными астрономическими телами далеко наиболее могучим является их гравитационное притяжение. Луне приписывали всякого рода влияния на нашу Землю, как, например, на ее погоду, судьбы, чувства и даже умственное здоровье ее обитателей; но единственным влиянием, которое уцелело после научного исследования, является гравитационное притяжение, обнаруживаемое полусуточными приливами. Конечно, верно, что прямое лобовое столкновение двух астрономических тел произвело бы более непосредственно драматические результаты, чем простое приливное вытягивание; но мы не будем рассматривать здесь такой случайности. Лобовые столкновения по необходимости должны быть до чрезвычайности редки; испытавшие его системы, несомненно, были бы от-

брошены с главной линии эволюционного хода на какую-нибудь боковую; но не представляется вероятным, чтобы по этой боковой линии пошли системы, подобные нашей собственной. Недостаток времени не позволяет нам заняться исследованием всех мыслимых боковых путей, и мы сейчас же обратимся к тому, который, повидимому, скорее всего раскрывает происхождение нашей системы—к той боковой линии, которая отделяется от главной в случае жестокой приливной встречи.

Наша Луна поднимает на Земле приливы, средняя высота которых в максимуме составляет только около метра. Эта высота максимального прилива составляет лишь около одной десятиллионной части земного радиуса,—эту дробь мы можем назвать приливной дробью. Еслибы Луна имела вдесятеро большую массу, эта приливная дробь увеличилась бы вдесятеро; еслибы Луна находилась на вдвое меньшем, чем теперь, расстоянии, эта приливная дробь возрасла бы в восемьмеро. Если мы согласимся измерять массы единицей, равною массе тела, испытывающего прилив, а длины будем мерять радиусами того же тела, то приливная дробь равна массе порождающего прилив тела, разделенной на куб его расстояния, или M/R^3 . Пользуясь этой формулой, мы найдем, что наш ближайший сосед Proxima Centauri подымает на Солнце прилив действительно бесконечно-малой величины: приливная дробь составляет в этом случае около 10^{-26} , а действительная высота прилива будет величина порядка 10^{-15} см или, примерно, в одну пятнадцатую радиуса электрона. Эта единственная иллюстрация покажет, и даже с избытком, что при нормальных условиях приливное влияние между соседними звездами совершенно ничтожно. Для того, чтобы приливные силы приобрели значение в космогонии, должны создаться ненормальные условия.

Наше Солнце в настоящий момент случайно не имеет особенно близкого соседа; но почти не подлежит сомнению, что когда-то в своих странствованиях посреди звезд оно должно было проходить мимо звезд на гораздо меньшем

расстоянии, чем то, которое теперь отделяет его от Proxima Centauri. Заслуживающие наибольшего доверия указания на возраст Земли, а именно указания геологии и радиоактивности, говорят о возрасте от 800 до 1100 миллионов лет. Для отчетливости будем считать возраст Солнца равным 1000 миллионов лет. Представим себе на минуту—это, несомненно, очень далеко от истины,—что за все эти тысячу миллионов лет Солнце и все звезды двигались так, как они движутся сейчас, с теми же средними скоростями, как и теперь, и сохраняя то же *среднее* расстояние друг от друга. За эти тысячу миллионов лет расстояние нашего Солнца от его ближайшего соседа постоянно менялось, и, конечно, роль ближайшего соседа переходила от одной звезды к другой. Но в этой тысяче миллионов лет должен был быть когда-то момент, когда наше Солнце было ближе к своему ближайшему соседу, чем во всякое другое мгновение. Вычисление на основании теории вероятностей говорит, что это ближайшее расстояние было, повидимому, порядка 7×10^{15} см,—расстояние, хотя в шестьсот раз меньшее расстояния, отделяющего нас от Proxima Centauri, но все же еще равное пятнадцати радиусам орбиты Нептуна. Даже еслибы Солнце заполняло всю орбиту Нептуна, то и при таком наибольшем сближении и при допущении, что эта ближайшая звезда имела массу, равную массе Солнца, приливная дробь была бы равна только $1/(15)^3$, или $1/3375$, что дает совершенно незначительную с точки зрения космогонии высоту прилива. Поскольку дела обстояли так, как они обстоят теперь, приливные действия между отдельными звездами должны были быть совершенно лишены космогонического интереса, за исключением, быть может, очень редких случаев исключительно тесных сближений.

Конечно, возможно, что наше Солнце было жертвой одного из этих исключительно тесных сближений. Ничего нельзя сказать против предположения такого события, кроме его априорной невероятности. Результатом такого тесного сближения, как мы увидим, могло быть создание

системы, во многих отношениях сходной с нашей солнечной системой.

Наши вычисления вероятности и невероятности покоились, однако, на заведомо ошибочном допущении, что звездные условия были подобны нынешним в течение тысячи миллионов лет. Оглядываясь назад на прошлую историю вселенной, мы приходим ко времени, когда условия должны были значительно отличаться от нынешних. Мы приходим к времени, уже нами рассматривавшемуся, когда наше Солнце еще не приняло своих нынешних звездных особенностей. Это было сгущение в ветви спиральной туманности, с тысячами подобных же сгущений двигавшееся к свободному пути в пространстве. Его плотность была во много и много раз меньше нынешней, а его размеры соответственно больше. Таким образом, оно было гораздо ближе к своим соседям, чем, по всей вероятности, оно было когда-нибудь впоследствии. В этой ранней стадии его существования приливные воздействия его соседей, конечно, могли быть громадны; мы сейчас обратимся к точным цифрам.

Вообще прохождение одной звезды мимо другой подымает только прилив, опускающийся, когда поднявшее прилив тело удаляется. Даже в том случае, когда сближение так тесно, что высота поднятого прилива больше первоначального радиуса звезды, удаление возмущающей звезды может дать в результате лишь возвращение возмущенной звезды к ее исходной сферической форме. Но здесь есть предел, который нельзя перешагнуть, а если возмущающее тело перешагнет этот предел, то всякая надежда, что звезда примет свою первоначальную форму, погибла. Величина этого предела зависит, прежде всего, от массы возмущателя; в меньшей степени она зависит от вращения, формы и распределения плотностей первичной звезды и до некоторой степени она зависит от скорости этих двух звезд одной по отношению к другой. Мы получим сносное представление о ходе событий, если мы предположим, что первичная звезда окружена воображаемой сферой, радиус которой

зависит исключительно от массы возмущающей звезды. Если эта масса равна массе первичной звезды, то радиус этой воображаемой сферы должен равняться приблизительно $2^{1/4}$ радиусам первичной звезды; если масса возмущающей звезды в восемь раз больше массы первичной звезды, то радиус нашей воображаемой сферы будет в $4^{1/2}$ раза больше радиуса первичной звезды и т. д. Пока центр вторгшейся звезды остается вне этой сферы, возникает прилив, понижающийся с уходом вторгшейся звезды, но с того мгновения, когда вторгшаяся звезда входит в эту сферу, возникает совершенно новое явление.

По мере того, как с приближением возмущателя прилив поднимается все более и более высоко, гребни этого прилива все больше удаляются от центра звезды в области, где ее гравитационное притяжение становится все слабее и слабее. В то же самое время, разумеется, притягательное действие вторгшейся звезды становится все сильнее. Наконец, в тот момент, когда вторгшаяся звезда вступает в критическую сферу, ее притягательное воздействие как раз уравнивает притяжение первичной звезды,—ведь это условие и определяет критическую сферу. Если вторгшаяся звезда продвигается дальше в эту критическую сферу, частицы на гребнях прилива отрываются от первичной звезды, так как результирующая притягательная сила на них теперь уже определенно направлена в сторону вторгшейся звезды; разумеется, они немедленно замещаются другими, которые в свою очередь отрываются, и т. д. В конечном результате получается поток или струя газа, вытекающая из вершины прилива. Каждая частица этой струи движется под общим действием сил первичной и вторгшейся звезды, и задача определения ее орбиты является частным случаем задачи трех тел,—к сожалению, аналитически неразрешимым. Но в общем результате эта струя будет подвергаться различным искривлениям, все время двигаясь в плоскости, содержащей орбиту вторгшейся звезды.

Если бы такая струя была выброшена Солнцем просто в силу ускорения вращения, вызываемого сжатием, то, как

мы видели, его гравитационного притяжения было бы недостаточно для противодействия расширительному действию ее собственного газового давления, и она быстро рассеялась бы в пространстве. В настоящем положении условия совершенно иные, и существенная разница состоит в том, что, тогда как сжатие вследствие потери излучения является очень медленным процессом, приливной разрыв может быть процессом очень быстрым. Скорость вращения звезды изменится лишь немного и за тысячи лет, между тем как десяти лет может быть достаточно для того, чтобы производящее прилив тело пришло, сделало свою работу и вновь ушло. Струя газа, освобождаемого ускорением вращения, должна была бы быть чрезвычайно разреженной; струя, освобождаемая приливной катастрофой, легко может оказаться достаточной для того, чтобы ее собственное притяжение удержало ее в форме компактного целого.

Если тяготение достаточно сильно, чтобы сделать это, оно будет также достаточно сильно, чтобы разбить струю на отдельные сгущения, совершенно так, как разбиваются на сгущения струи спиральной туманности. Но здесь снова надо учесть существенную разницу. Сжатие спиральной туманности представляет собою медленный вековой процесс. Год за годом и век за веком струя будет выбрасываться без изменения свойств,—этот процесс можно сравнить с разворачиванием бухты (круга) каната. Приливной же разрыв звезды является событием быстрым, даже катастрофическим: в течение немногих лет испускание струи начинается, достигает максимума, уменьшается и кончается. Здесь нет постоянного разворачивания; процесс скорее можно было бы сравнить с взрывом мины или другого тела, которое толще всего в середине и становится тоньше к обоим концам. Когда струя этой формы разбивается на сгущения, она дает не длинную цепь сходных масс, но небольшое число неравных масс. Естественно предположить априорно, что большие массы, вероятно, образуются из центральных частей, где вещества много, а меньшие массы на концах, где вещества мало. Разумеется, такой

вопрос нельзя окончательно разрешить априорными догадками, но в настоящем случае точное исследование задачи показывает, что этот априорный взгляд правилен, и внушает мысль, что сравнительное изобилие вещества в центральной части струи может дать объяснение появлению более значительных по массе планет Юпитера и Сатурна в середине последовательного ряда планет.

Очевидно, если приливной катастрофой можно объяснить существование планет, то при ее помощи, по крайней мере в общих чертах, можно объяснить также существование спутников у этих планет. Ибо непосредственно после рождения какой-нибудь планеты, например, Юпитера, исходное положение снова повторяется в миниатюре. Юпитер теперь играет роль, первоначально принадлежавшую Солнцу, тогда как какая-нибудь странствующая звезда или само Солнце, или, быть может, известное сочетание того и другого возьмет на себя роль возмущающего тела, поднимающего прилив. Мы снова получаем истечение струи, вновь образуются сгущения и, наконец, в виде последнего результата, ряд отдельных тел с наиболее массивным из них в середине. Так как Юпитер, Солнце и возмущающая звезда все движутся в одной и той же плоскости, а именно в плоскости орбиты Юпитера, то спутники Юпитера при своем образовании также должны двигаться в этой плоскости, что, как мы наблюдаем, действительно и происходит.

Пока мы просто обсуждаем вопрос в общей форме, можно думать, что процесс может продолжаться дальше поколение за поколением, так что каждый член семьи спутников дает меньших спутников, обращающихся вокруг него, и т. д. до бесконечности. Здравый смысл подсказывает, что это не может продолжаться вечно, что где-то должен быть предел. Точное вычисление подтверждает взгляд здравого смысла с неприятной прибавкой, что мы окажемся в опасности переступить этот предел, если будем пытаться объяснить всю массу спутников в солнечной системе только что указанным путем.

Я уже указывал математическую формулу, позволяющую нам вычислить массы тел, образующихся из сгущений в ветвях спиральной туманности. Та же формула дает нам возможность вычислить массы планет, которые должны были бы образоваться из струи, выбрасываемой Солнцем. Предположим, что в то время, когда происходила приливная катастрофа, Солнце имело радиус, равный радиусу орбиты Нептуна, и, следовательно, его средняя плотность была 5.5×10^{-12} ; предположим, что в средних частях выброшенной струи средняя плотность была в 10 раз меньше этого, или 5.5×10^{-13} . Предположим далее, что температура выброшенного вещества соответствовала молекулярной скорости 4×10^4 , что приблизительно представляет молекулярную скорость водорода или кислорода на их обычных точках кипения. Таким образом, наша формула показывает, что массы планет, образующихся из средних частей струи, должны составлять около 10^{30} г,—среднее между массами Юпитера и Сатурна.

Это достаточно убедительно показывает, что со стороны чисел нет затруднений в предположении, что Юпитер и Сатурн создались указанным выше путем. Если бы мы хотели принять приливную теорию их рождения, мы можем сделать обратный расчет и из их нынешних, известных нам, масс вычислить, какова должна была быть плотность вещества, из которого они образовались.

Конечно, обратный расчет такого рода приложим не только к Юпитеру и Сатурну; если приливная гипотеза верна, он должен быть приложим ко всем планетам и ко всем их спутникам. Например, первые пять спутников Сатурна все имеют массы около 5×10^{23} г; наше вычисление показывает, что, если эти спутники возникли в виде газообразных сгущений в струе, то газ в этой струе должен был иметь плотность от плотности свинца до в миллион раз большей. Такое заключение, разумеется, было бы слишком опрометчиво; единственный правильный вывод будет тот, что эти спутники не могли появиться в виде газовых сгущений.

Это заключение не является ни удивительным, ни даже неожиданным. Даже теперь эти спутники, вследствие незначительности их масс, не в состоянии удержать при себе газовую атмосферу, откуда следует, что они никогда не могли существовать в газообразном состоянии. Они должны были родиться либо жидкими, либо твердыми.

Таким образом, мы приходим к действительному ограничению возможности рождения бесконечных поколений спутников. Прежде всего, спустя некоторое время спутники были бы слишком малы, чтобы тяготение могло удерживать их вместе. Короткую передышку от действия этого закона дает возможность для вещества сжигаться или даже отвердевать раньше рассеяния в пространстве, и, вероятно, влиянию этой передышки все спутники планет, а пожалуй, также и сами меньшие планеты обязаны своим существованием.

Что же сказать о нашей Земле, интересующей нас больше всех других планет? Ее нынешняя масса слишком мала, чтобы допустить рождение из чисто газовой струи, но мы должны помнить, что, если она родилась газообразной, значительная часть ее массы могла бы немедленно рассеяться в пространстве, так что нынешняя Земля может представлять только остаток некогда гораздо более массивной планеты. Это направление исследования не приводит ни к чему. Более обещающую линию атаки можно найти у нашего спутника Луны. Чем более жидкой была планета при своем рождении, тем меньше вероятности для приливного ее разрыва действием все еще газообразного Солнца. Но если бы такой разрыв действительно произошел, то отношение масс спутника и главного тела было бы гораздо ближе к единице, чем в случае совершенно газообразной планеты. Таким образом, переходя от планет, бывших при рождении совершенно газообразными, к планетам, бывшим совершенно жидкими, мы должны начинать с планет с большим числом относительно малых спутников и, перейдя через предельные случаи планет с небольшим числом сравнительно больших спутников, мы должны дойти до планет совершенно без спутников. Это и есть в точности то, что мы

находим в солнечной системе. От Юпитера и Сатурна, имеющих каждый девять сравнительно небольших спутников, через Марс с его двумя спутниками мы приходим к Земле с одним сравнительно очень большим спутником, а за нею идут Венера и Меркурий, совершенно лишенные спутников. Идя от Юпитера и Сатурна в другую сторону, мы переходим через Уран с четырьмя небольшими спутниками к Нептуну с одним сравнительно крупным спутником. С этой точки зрения система Земли-Луны является, очевидно, предельным случаем между планетами, бывшими в начале жидкими, и планетами первоначально газообразными; в другой половине цепи соответствующим предельным случаем является Нептун. Таким образом, мы можем предполагать, что Меркурий и Венера родились жидкими или твердыми, что Земля и Нептун были рождены отчасти жидкими, отчасти газообразными, а Марс, Юпитер, Сатурн и Уран родились газообразными.

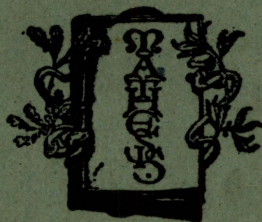
Мы уже заметили, что и Марс, и Уран обладают массами, слишком малыми для их положений в ряду планет. Если планеты рождались из струи непрерывно изменяющейся плотности, то масса Марса при рождении должна была бы быть промежуточной между массами Земли и Юпитера, и, аналогично, масса Урана при рождении его должна была бы быть промежуточной между массами Нептуна и Сатурна. Мы, однако, только что видели основания для предположения, что эти две аномальные планеты, Марс и Уран, были двумя наименьшими планетами, которые должны были появиться на свет газообразными; поэтому они, вероятно, должны были потерять больше массы от рассеяния внешних слоев, чем какая бы то ни была из других планет. Введем допущение, что Марс и, в меньшей степени, Уран потеряли большую долю своих масс от рассеяния в пространство; предположим, что они являются только обломками того, что было вначале гораздо более массивным телом, — тогда все аномалии исчезают и составные части складной картинки начинают укладываться очень хорошо.

Тем не менее, несмотря на широкие обещания, которые приливная теория, повидимому, выполняет, еще далеко слишком рано утверждать, что она может окончательно объяснить происхождение нашей системы; в настоящее время ее право на внимание скорее в том, что, поскольку я знаю, она дает единственную теорию этого происхождения, не встречающую очевидно непреодолимых трудностей.



ВЫШЛИ В СВЕТ:

- А. Адлер.** ТЕОРИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПОСТРОЕНИЙ. Перевод с немецк. под ред. и с примеч. проф. С. О. Шатуновского. 2-е издание. XII + 304 стр. 8^о.
- Р. Дедекинд,** проф. НЕПРЕРЫВНОСТЬ И ИРРАЦИОНАЛЬНЫЕ ЧИСЛА. Перевод с нем. проф. С. О. Шатуновского. Со статьей переводчика: „Доказательство существования трансцендентных чисел“, 4-е исправленное издание. 44 стр. 8^о, Рб — 35.
- Ф. Журдэн.** ПРИРОДА МАТЕМАТИКИ. Перевод с английского под ред. проф. И. Ю. Тимченко. VIII + 177 стр. 16^о, Рб 1.10.
- В. Литцманн и В. Триер.** В ЧЕМ ОШИБКА? Перевод с немецкого. VIII + 78 стр. 16^о, Рб — 55.
- Ф. Меннхен,** проф. НЕКОТОРЫЕ ТАЙНЫ АРТИСТОВ - ВЫЧИСЛИТЕЛЕЙ. Пер. с нем. под ред. проф. И. Ю. Тимченко. VIII + 84 стр. 16^о, Рб — 50.
- С. Роу.** ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ УПРАЖНЕНИЯ С КУСКОМ БУМАГИ. 2-е издание. VIII + 168 стр. 16^о, Рб — 95.
- С. О. Шатуновский,** проф. ВВЕДЕНИЕ В АНАЛИЗ. VIII + 224 стр. 8^о, Рб 2.75.
- Г. Шуберт.** МАТЕМАТИЧЕСКИЕ РАЗВЛЕЧЕНИЯ И ИГРЫ. Перевод с немецкого с дополнениями проф. С. О. Шатуновского. 2-е издание. VIII + 186 стр. 8^о, Рб 1.70.
- К. М. Щербина,** проф. ТЕРМИНОЛОГИЯ В ЭЛЕМЕНТАРНОМ КУРСЕ МАТЕМАТИКИ. 32 стр. 8^о, Рб — 20.
-
- Ф. Астон.** ИЗОТОПЫ. Перевод с английск. под ред. проф. Д. Д. Хмырова. VIII + 164 стр. 8^о.
- А. Венельт,** проф. ЛАБОРАТОРНАЯ ПРАКТИКА. Перевод с немецкого под ред. проф. Д. Д. Хмырова. VIII + 150 стр. 8^о, Рб 2 —.
- Ф. Кольрауш,** проф. КРАТКОЕ РУКОВОДСТВО К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ ПО ФИЗИКЕ. 2-е издание, вновь просмотренное и дополненное проф. Е. А. Кирилловым. XII + 316 стр. 8^о, Рб 2.60.
- Ф. Содди,** проф. РАДИЙ И СТРОЕНИЕ АТОМА. Перевод с английского под ред. проф. Д. Д. Хмырова. 3-ье издание. VIII + 205 стр. 8^о, Рб 2 —.
- А. Эддингтон,** проф. ПРОСТРАНСТВО, ВРЕМЯ И ТЯГОТЕНИЕ. Пер. с английск. с примеч. проф. Ю. Г. Рабиновича. VIII + 216 стр. 8^о, Рб 1.50.
- Его же.** ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА НАУЧНУЮ МЫСЛЬ. Пер. с англ. под ред. проф. И. Ю. Тимченко. 32 стр. 16^о, Рб — 30.
- С. Ньюком,** проф. АСТРОНОМИЯ ДЛЯ ВСЕХ. Перевод с английского проф. А. Р. Орбинского. 3-ье издание, XVI + 226 стр. 8^о, Рб 2 —.
-
- М. Ньюбигин.** СОВРЕМЕННАЯ ГЕОГРАФИЯ. Перевод с английск. под редакцией и с примеч. проф. Г. И. Танфильева. 224 стр. 16^о, Рб — 75.
- С. Тромгольт.** ИГРЫ СО СПИЧКАМИ. 3-е изд. 140 стр. 16^о, Рб — 75.



Склад Издания
Одесское Отделение
Гос. Изд. Украины
Лассаля, 33.

<http://mathesis.ru>