

Лекция № 10. УНИКАЛЬНАЯ И НЕПОВТОРИМАЯ ЗВЕЗДА – СОЛНЦЕ

Неистоцимость Солнца всегда поражала человеческое воображение. Ведь наше светило излучает энергию миллиарды лет с поразительным постоянством. Ответ на вопрос: “Почему светит Солнце?” – простой: светит потому, что горячее. Но чтобы не остывать, Солнце должно сжиматься, при этом гравитационная энергия – энергия частиц, поднятых над центром шара, переходит в кинетическую, тепловую и восполняет потери в излучаемой энергии. Известен и ответ на принципиальный вопрос об источнике энергии Солнца: *термоядерный синтез (процесс слияния легких атомных ядер, проходящий с выделением энергии, при высоких температурах)* – синтез ядер гелия из протонов (реакция “выгорания” водорода в гелий). Если четыре протона превратятся в ядро гелия, то при этом должна выделиться энергия, равная разности четырех протонов и гелия (дефект масс), умноженная на квадрат скорости света. Для обеспечения светимости Солнца необходимо, чтобы каждую секунду сгорало $3,6 \cdot 10^{38}$ протонов (ядер водорода), что составляет 10^{-18} часть общего количества протонов (ядер водорода), имеющих в солнечном веществе. Солнце содержит 71% водорода, 27% гелия и 2% иных химических элементов.

Маленькая энциклопедия “Физика космоса” дает следующее определение Солнечной системы: “Солнечная система состоит из планет с их спутниками, астероидов (малых планет), комет, мелких метеорных тел, космической пыли и межпланетного газа. Происхождение, эволюция, законы движения всех этих тел неразрывно связаны с центральным телом системы – Солнцем...”

Солнцу обязана своим существованием жизнь на Земле. Это основной источник энергии для нашей планеты. Солнце – желтый карлик класса G2. Солнце уникально: не обнаружено ни одной звезды, основные физические характеристики которой полностью бы совпадали с параметрами Солнца.

Удивительно положение Солнца в Галактике. *Солнце не принадлежит струйному потоку Ориона-Лебедя, а движется в Галактике по самостоятельной, медленно эволюционирующей орбите.* Оно движется по так называемой траектории **коротации** (англ. corotation, совращение). Это особая траектория радиусом около 8000 пс, в узкой окрестности которой ($\leq 10\%$ радиуса) отсутствует активное звездообразование, мала вероятность вспышек сверхновых звезд. На этой траектории скорость движения звезды (300 км/с) близка к скорости движения межзвездного вещества. Возраст Земли около 5 млрд. лет (*и столько же еще оно просуществует, пока не превратится в “красного гиганта”*), один галактический год – время полного оборота Солнца вокруг центра Галактики – близок к 250 млн. лет (за время своего существования Солнце сделало $5 \cdot 10^9 / 250 \cdot 10^6 = 20$ оборотов вокруг центра Галактики). В таблице 1 приведены основные характеристики Солнца.

Основные характеристики Солнца

Характеристика	Значение
Наименьшее расстояние от Земли, км	146 100 000
Наибольшее расстояние от Земли, км	152 100 000
Радиус Солнца, км	696 000 ($R_s = 6400$)
Масса Солнца, кг	$2 \cdot 10^{30}$
Температура в центре, К	16 000 000
Температура поверхности, К	5 800
Температура в солнечных пятнах, К	4 500
Температура короны, К	1 000 000
Типичный размер солнечного пятна, км	2 000
Поток энергии, Дж/с	$4 \cdot 10^{26}$
Средняя плотность солнечного вещества, г/см ²	1,4

Светимость Солнца (полная мощность) $E = 4 \cdot 10^{26}$ Вт. Она соответствует ежесекундному уменьшению $M_s \approx$ на 4 млн. тонн. Каждый м² поверхности Солнца в энергетическом отношении можно сравнить с электростанцией мощностью 0,1 МВт. Количество энергии, падающей на 1 м² поверхности Земли за 1 с (**освещенность**) от Солнца, **солнечная постоянная**, $E_0 = 1370$ Вт/м². На долю Земли приходится менее 10^{-9} от E (миллиардная доля). Такое энерговыделение Солнца практически неизменно в течение 3 – 4 млрд. лет. Критерий – вода на Земле: она не превратилась в лед и не испарилась.

Но как оценить состояние внутренних областей Солнца? За счет чего энергия, выделяемая при термоядерной реакции в ядре Солнца, передается наружу? Грубые оценки показывают, что на расстоянии, отстоящем от поверхности на половину радиуса, температура составляет 10 млн. К, а давление превышает 500 млн. атм. Ранее полагали, что Солнце находится в состоянии *конвективного перемешивания* (конвекция – процесс, при котором происходит перенос теплоты потоками вещества). Однако оказалось, что этот процесс не способен обеспечить наблюдаемую мощность излучения Солнца. Перенос энергии от нагретых внутренних областей Солнца наружу происходит преимущественно *за счет излучения*. Нагретый слой передает энергию лежащему выше более холодному слою. Тот поглощает ее и вновь излучает при чуть более низкой температуре. И так слой за слоем.

Солнце довольно старая звезда, в ней нет конвективного ядра (перемешивание вещества происходит достаточно медленно). По-видимому водорода в его центральной части меньше (~ на 50%), чем в наружных слоях. Температура в центре близка к 15 млн. К, а плотность вещества достигает 130 г/см³. Около поверхности Солнца есть конвективная зона, занимающая около 15% радиуса.

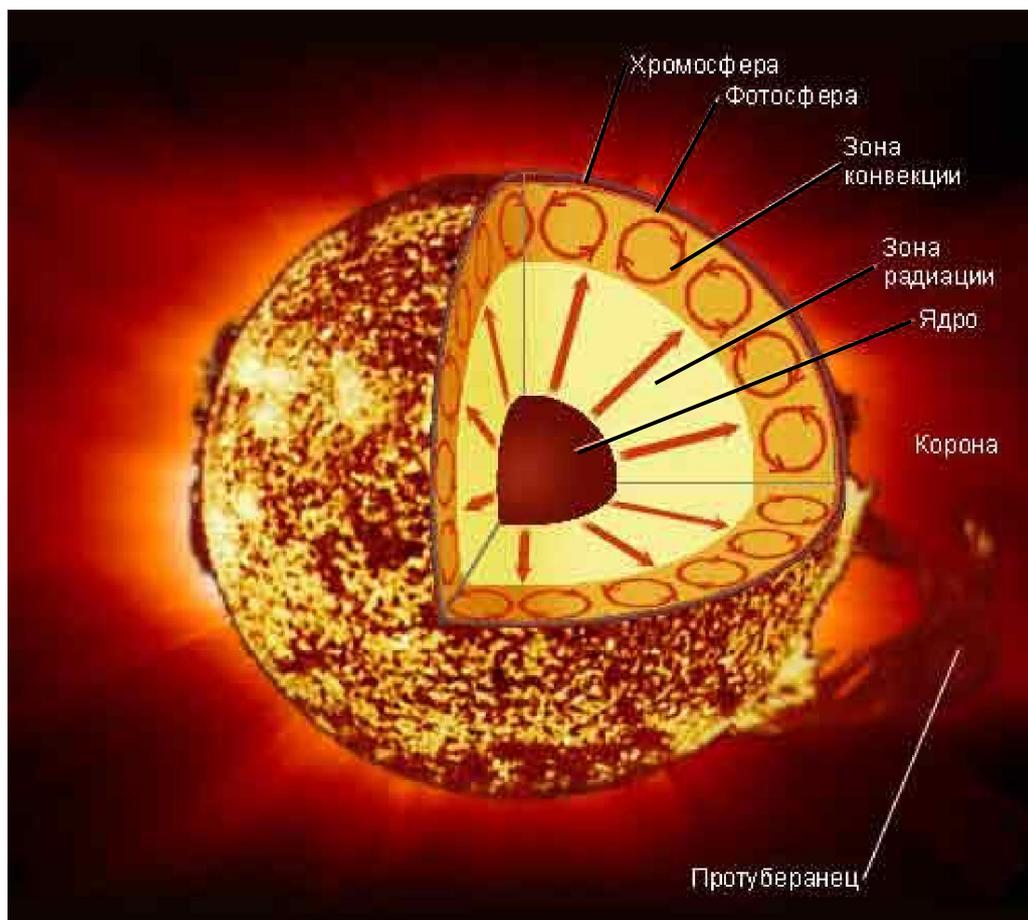


Рис. 1. Внутреннее строение Солнца

Поверхность имеет сложную структуру и состоит из нескольких слоев (рис. 1). Самый нижний, доступный для наблюдений, достаточно плотный газ – **фотосфера**. Она простирается приблизительно на 300–500 км выше наблюдаемого края Солнца. Газы фотосферы сливаются с газами **хромосферы**, нижняя хромосфера простирается приблизительно до высоты порядка 4 000 км. Здесь начинается верхняя хромосфера и **корона**. Фото-, хромосферу и особенно корону достаточно просто наблюдать при солнечных затмениях (*последнее полное затмение Солнца – 1 августа 2008 г. – Луна проходит между Солнцем и Землей и загораживает Солнечный диск*).

Солнечная активность связана с множеством явлений, наблюдаемых на поверхности Солнца. Это и **солнечные пятна**, и **хромосферные вспышки**, и выбросы вещества – **протуберанцы**. С 1750 г. ведутся систематические наблюдения за группами темных образований на поверхности Солнца, **пятнами**. Солнечные пятна кажутся темными, так как их температура меньше температуры фотосферы. Число и распределение пятен изменяется приблизительно периодически. Пятна появляются обязательно парами, имеют разные размеры и длительность существования. Типичный диаметр пятна около 2 000 км, а время жизни – порядка суток. Однако наблюдали пятна, живущие до 70 суток и превращающиеся в области, размером превосходящие Землю. Причина образования солнечных пятен – конвекция и магнитное поле Солнца. Можно предположить, что под поверхностными

слоями Солнца существует неоднородное магнитное поле, мешающее нормальному конвективному теплообмену между поверхностью и нижними слоями фотосферы. В результате в пятне температура падает, оно становится темным. Из-за магнитного поля пятна являются источником заряженных частиц, выбрасываемых на далекое расстояние от Солнца, – так называемого **солнечного ветра**.

Наблюдения за солнечными пятнами позволили оценить период вращения Солнца (по их перемещению по диску Солнца). На экваторе $T = 24,96$ суток, на широте 35° – 26,83 суток. Вращение совершается в том же направлении, что и орбитальное движение, и вращение вокруг осей планет. *Исключение – Венера и Уран. Венера – ретроградное вращение, Уран – катится по траектории.*

Часто рядом с солнечными пятнами возникают ослепительно белые вспышки (не более часа), видимые невооруженным глазом, – **хромосферные вспышки**. Наблюдения показывают, что при вспышке область, излучающая энергию, выбрасывается с поверхности фотосферы со скоростью до 700 км/с и достигает высот до 60 000 км. Хромосферные вспышки оказывают влияние на ионосферу и магнитное поле Земли.

Над краем Солнца всегда можно наблюдать выбросы раскаленной разреженной плазмы – протуберанцы. Температура протуберанца при увеличении расстояния от Солнца падает, то есть уменьшается его светимость. Тем не менее, известны наблюдения протуберанцев до расстояний порядка 1 500 000 км над фотосферой. Облака ионизированных разреженных газов, движущихся под давлением солнечного излучения, приводят к возмущениям магнитного поля Земли, полярным сияниям. Выброс длится несколько минут, свет от него достигает Земли через 8 минут, потоки ионизированных частиц – за 1 – 2 суток.

Бывают периоды, когда вспышки следуют одна за другой: периоды повышенной солнечной активности. Мерой активности Солнца можно считать количество вспышек за месяц или за год. Удобнее измерять активность Солнца по числу солнечных пятен (f) и числу групп пятен (g), наблюдаемых в данный момент на Солнце. Комбинация этих чисел: $W = f + 10g$ носит название числа Вольфа (по имени швейцарского астронома). Длительные наблюдения за пятнами позволили выявить два цикла максимальной активности Солнца – 11-летний и, вероятно, 90-летний. Амплитуда в цикле непостоянна – 3–4 сильных максимума и приблизительно столько же слабых. Однозначного объяснения этим эффектам сегодня нет.

Солнечно-земные связи. Почти все виды энергии, используемой человеком, можно свести к солнечной энергии. Пища, по существу, является солнечным светом, собранным, накопленным и преобразованным в углеводы посредством фотосинтеза в листьях зеленых растений. Уголь, нефть, газ – солнечный свет, накопленный и законсервированный млн. лет тому назад. Энергия воды и ветра – результат действия солнечного излучения на атмосферу и гидросферу. Прозрачность атмосферы Земли связана с

изменением плотности потока космических частиц. При этом возрастает доля ультрафиолетового излучения, что вызывает изменение свойств ионосферы.

Действие солнечных пятен и других солнечных явлений на Землю является по своему характеру электрическим или магнитным и достоверно определено. На Земле наблюдается замирание радиоволн, магнитные бури, полярные сияния и тому подобное. Известен ряд явлений, связанных с изменением погоды, скоростью роста растений и животных, самочувствием человека и имеющих косвенное отношение к циклу солнечных пятен. Ясно, что погода в широком смысле этого слова связана с Солнцем и вращением Земли вокруг оси. Однако проследить за изменениями погоды в связи с изменениями солнечной активности чрезвычайно трудно – дополнительные влияния так переплетаются между собой, что однозначных выводов сделать нельзя.

На основе узких и широких колец деревьев получены четко выраженные циклы роста – 7, 11 лет и 23 г. Даже количество и качество вина в Германии в 1878 г. таинственным образом связано с пятнами на Солнце?!

Выдающийся русский ученый А.Л. Чижевский, который развил новое учение – *гелиобиологию* (*гелио – Солнце, раздел биофизики, изучающий влияние изменения активности Солнца на земные организмы*), в 1924 г. опубликовал итоги статистического анализа истории более чем 50 государств и народов всех континентов с 500 г. до н. э. до 1914 г. Исследование выявило циклические колебания числа массовых событий со средним периодом 11 лет. Чижевский однозначно связывал эти циклы с циклами солнечной активности, объясняя ростом интенсивности психической деятельности людей, степени их возбудимости, агрессивности, готовности следовать за вождями, возникновения эпидемий, обострений нервных и психических заболеваний.

Озоновый слой и Солнце. Проблема “озоновой дыры” – уменьшения концентрации озона O_3 в атмосфере – является одной из наиболее обсуждаемых сегодня. Озон верхних слоев атмосферы поглощает большую часть УФ части солнечной радиации. Основная масса O_3 сосредоточена на высотах от 20 до 30 км. Общее количество озона в атмосфере мало, при нормальном давлении и температуре $0^\circ C$ он распределился бы по земной поверхности слоем 2 – 3 мм. Наблюдения за озоновым слоем начались не более 30 лет назад. Как показали измерения, содержание озона в атмосфере зависит от времени года и от широты местности. Самое низкое содержание O_3 в экваториальном слое, от 28° северной широты до 28° южной широты (почти половина поверхности земного шара). В поясе умеренных широт (в северном полушарии - приблизительно между 40° и 65° с. ш., в Южном – между 42° и 58° ю. ш.), количество озона самое большое. Сезонные колебания совпадают с сезонными колебаниями солнечной энергии. В арктическом поясе озона сравнительно мало. Тщательными измерениями показано, что содержание озона в атмосфере тесно связано с солнечной активностью. В поясе умеренных широт в годы максимальной активности Солнца содержание O_3 повышается, в тропических областях – уменьшается.

Влияет ли Солнце на живые организмы? Безусловно. Искажают ли потоки заряженных частиц магнитное поле Земли? Конечно. Но предсказывать эти влияния трудно. Ведь солнечные вспышки – явление случайное, их невозможно предсказать. “Эффективность” газетных предсказаний имеет, скорее, психологическую природу.

В Уссурийской астрофизической обсерватории ДВО РАН (станция Службы Солнца) ведутся регулярные наблюдения Солнца и солнечной активности.

Солнечная система. В отличие от сведений по эволюции звезд мы мало что знаем об этапах формирования планет, хотя и живем на Земле. Причина проста: наша планета почти единственный объект исследования. *(Сначала пытались исследовать Венеру. Это самая близкая к нам планета, по размерам и структуре больше всего похожа на Землю, однако как оказалось чрезвычайно высокая температура на поверхности (~ 500 °C) и сверхплотная атмосфера (давление ~ 500 атмосфер) не позволят находиться человеку на ней даже короткое время.)* Затем – Марс.

Итак, мы наблюдаем 8 планет Солнечной системы и их спутников (рис. 2, 3) (с августа 2006 г. планета Плутон решением Международного астрономического союза присвоен статус не “планеты”, а “карликовой планеты”). Дискуссия вокруг статуса планет велась довольно долго, и перед МАС стояла дилемма: либо увеличить количество планет Солнечной системы до 12-ти (рис. 4,5), либо сократить до восьми.).

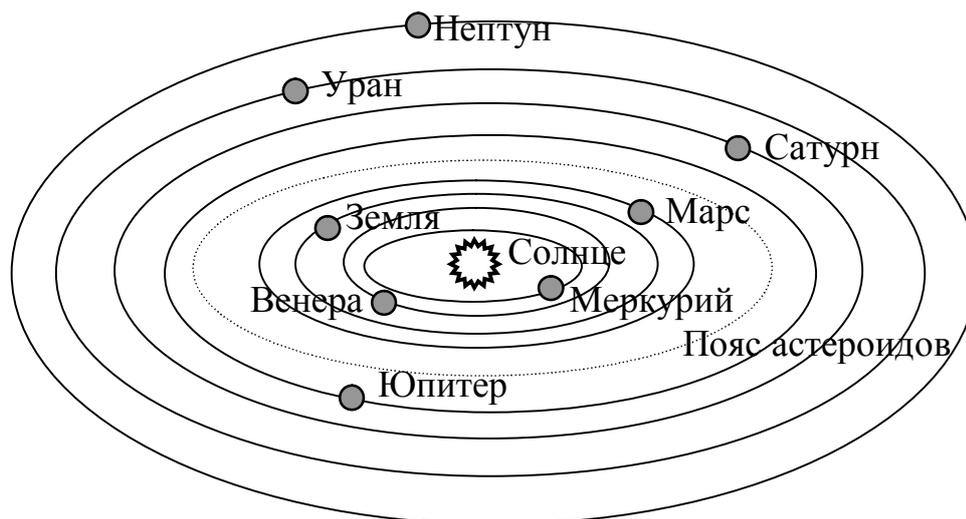


Рис. 2. Схематическое изображение Солнечной системы. Меркурий, Венера, Земля, Марс, пояс астероидов – планеты земной группы; Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун – внешние планеты



Рис. 3. Солнечная система



Рис. 4. Кандидаты в планеты в сравнении с Землей



Рис. 5. Планетами предлагалось назвать спутник Плутона Харон, крупнейший астероид Цереру и объект пояса Койпера, известный под названием Зена

Первая планета, открытая с помощью телескопа – Уран (7 планета) (1781 г., Уильям Гершель). В 1846 г. по отклонению орбиты Урана было теоретически предсказано существование планеты Нептун (8 планета), и она была найдена. В 1930 г. по возмущениям в движении Урана была обнаружена планета Плутон (ныне “карликовая планета”). Планеты движутся вокруг Солнца по эллиптическим орбитам, при этом характеристики эллипсов (большая и малая полуоси) за 5 млрд. лет мало изменились. В таблице 2 приведены значения эксцентриситета орбиты, характеризующего отклонения орбиты от окружности. Для окружности эксцентриситет равен нулю. Видно, что у большинства планет, за исключением Меркурия, орбиты весьма близки к окружности.

Плоскости эллиптических орбит всех планет лежат почти в одной плоскости (плоскости *эклиптики*). Наибольшее отклонение плоскости орбиты от эклиптики опять же у Меркурия и Плутона. Почти, все планеты вращаются вокруг Солнца в одном и том же направлении. Все планеты и Солнце вращаются в одном направлении вокруг своих осей, кроме Венеры. (Обычно планеты вращаются вокруг своей оси в том же направлении, в котором происходит их обращение вокруг Солнца, то есть с запада на восток. Венера – с востока на запад. “Обратное” вращение Венеры астрономы называют *ретроградным*.) У всех планет и Солнца экватор наклонен к плоскости орбит. У Урана ось вращения вокруг оси фактически лежит в плоскости эклиптики. Планета как бы “катится” по орбите. Почти в таком же положении движется Плутон. Орбиты большинства спутников планет круговые. Большинство спутников и кольцо Сатурна обращаются

вокруг своих планет в том же направлении, в котором планеты обращаются вокруг Солнца (табл. 2).

Таблица 2

Основные характеристики планет Солнечной системы

Планета	Период обращения вокруг Солнца, лет	Масса	Радиус	Средняя плотность, кг/м ³	Сутки	Наклонение экватора к плоскости орбиты, град	спутники	Наклонение орбиты к плоскости эклиптики, град	Эксцентриситет орбиты
Меркурий	0,24	0,06	0,38	5400	56,7 дня	0	0	7	0,21
Венера	0,62	0,82	0,95	5200	243 дня	-2	0	3,4	0,01
Земля	1	1	1	5500	1 день 23,93 часа	23,5	1	0	0,02
Марс	1,88	0,11	0,53	3900	24,6 часа	25	2	1,85	0,09
Юпитер	11,86	317,8	11,2	1300	9,8 часов	3	16	1,30	0,05
Сатурн	29,46	95,1	9,42	700	10,7 часа	27	20?	2,49	0,06
Уран	84,01	14,5	4,10	1300	17,24 часа	98	15	0,77	0,05
Нептун	164,8	17,2	3,88	1700	16,1 часа	27	8	1,77	0,01
Плутон	247,7	0,002	0,18	2000	6,4 дня	-58	1	17,2	0,25

Примечания: знак “минус” в таблице означает, что орбита наклонена в сторону, противоположную наклонению орбиты Земли.

Радиоактивность – важнейшее свойство Земли, позволило определить возрасты химических элементов и тел солнечной системы. По оценкам, основанным на радиоактивном распаде урана, тория, рубидия и калия удалось определить возраст Земли – *около 4,5÷5 млрд. лет*; возраст метеоритов примерно соответствует возрасту земных пород и составляет около 4,5 – 4,6 млрд лет, т. е. совпадает с возрастом Земли и Луны. Источниками сведений о распространенности химических элементов служат данные о составе Солнца, метеоритов, поверхностей Луны и планет (табл.3).

В них насчитывается примерно 66 минералов, большинство из них похожи на земные. Все тела солнечной системы построены из небольшого числа элементов (около 28 номера таблицы Менделеева распространённость резко падает) и имеют единое происхождение. Основную часть внутренних планет и метеоритов составляют нелетучие элементы солнечного вещества – Si, Fe, Mg, Ca, Al, Ni, Na. Детально сравнивая их, Виноградов показал (1962), что эти породообразующие элементы планет и метеоритов выброшены Солнцем, а не захвачены из других областей Галактики.

Таблица 3

Сравнение химического состава земной и лунной коры и метеоритов (в весовых процентах)

Элемент	Земная кора	Лунная кора	Метеориты
Кислород (O ₂)	46,6	42,0	33,0
Кремний (Si)	27,7	21,0	17,0
Алюминий (Al)	8,1	4,8	1,1
Железо (Fe)	5,0	13,0	28,6
Магний (Mg)	2,1	4,8	13,8
Кальций (Ca)	3,6	6,8	1,4
Натрий (Na)	2,8	0,4	0,7
Калий (K)	2,6	0,2	0,1
Титан (Ti)	0,4	6,0	0,1
Никель (Ni)	0,01	0,02	1,7

В настоящее время известен ряд гипотез образования Солнечной системы, основанных на этих данных. Одна из первых – гипотеза Канта – Лапласа. По этой гипотезе предполагается образование планет в результате эволюции холодной (*И. Кант*) или горячей (*П. Лаплас*) пылевой туманности, быстро вращающейся вокруг центра масс, из которой были образованы и Солнце и планеты.

Эти гипотезы при резком отличии выдвигают общее представление о возникновении Солнечной системы в результате закономерного развития пылевой туманности. В то же время эти гипотезы не удовлетворяют **закону сохранения момента импульса**. Если мы имеем систему тел, вращающихся вокруг некоторой оси, то в этой системе должен сохраняться момент импульса – произведение массы на скорость и расстояние до оси вращения. (Пример: действия закона сохранения момента импульса – изменение скорости вращения фигуриста при изменении положения рук). При изменении размеров вращающегося тела должна изменяться его угловая скорость. Таким образом, если полагать (как это делается в большинстве гипотез формирования Солнечной системы), что Солнце сформировалось при конденсации вращающегося газового облака, то сохранение момента импульса должно быть очень важным критерием, определяющим правильность гипотезы. Основной вклад в момент импульса Солнечной

системы вносятся орбитальным движением планет – гигантов Юпитера и Сатурна.

В начале XX в. появилась *гипотеза Д.Х. Джинса*. Исходный материал, из которого в дальнейшем образовались планеты, выброшен Солнцем при случайном прохождении вблизи некоторой звезды. Звезда прошла очень близко, почти столкнулась с Солнцем. При этом из поверхностных слоев Солнца была выброшена струя газа, конденсация которого привела к образованию планет. Оценки показывают (при известном расстоянии между звездами и скорости их движения), что за последние 5 млрд. лет таких прохождений может быть не более 10. То есть планетных систем в Галактике было бы крайне мало. Это вряд ли соответствует действительности. Таким образом и гипотеза Джинса не выдерживает критики.

В современных моделях формирования планетарных систем обращают внимание на два факта: часть звезд потеряли весь свой вращающий момент, звезды с массами $> 1,4 M_{\odot}$ вращаются со скоростью $\approx 100 \text{ км/с}$. Объяснение этих фактов требует создания новых гипотез. В частности – представлений о взаимодействии межзвездного магнитного поля с ионизированным газом при формировании первоначального газового диска, из которого впоследствии формируются планеты.

Одна из *современных гипотез формирования Солнечной системы* предполагает, что первоначальная масса материала, из которого образованы планеты, составила около 1% массы Солнца и была выброшена из него в тот момент, когда Солнце теряло вращательную устойчивость. Этот выброс с течением времени сформировался в протопланетный диск. Из него впоследствии и сконденсировались планеты. Различия в составе планет объясняется тем, что протопланетное облако представляло собой кольцо, в котором при уплотнении пылинки слипались между собой. Солнце нагревало внутреннюю часть этого кольца, вызывая испарение, выгоняя солнечным ветром более легкие элементы в более дальние части кольца, где они “замерзали” ($T = 50 \text{ К}$). Так происходило образование двух групп планет. Планеты земной группы образовались примерно за 100 млн лет. В зависимости от расстояния до Солнца разные части туманности остывали с разной скоростью. Это привело к неоднородности протекания химических процессов, которая усиливалась давлением солнечного излучения и корпускулярной радиации Солнца. В разных частях облака возникали неоднородности, что потом отразилось на составе образовавшихся планет. Не исключено, что планеты образовались не одновременно, а при разных выбросах вещества из Солнца. В частности, планеты – гиганты Юпитер и Сатурн образовались позже Урана, Нептуна, планет земной группы.

В формировании нашей планеты существенную роль играли тепло недр и процессы радиоактивного распада. Формирование земной коры происходило в течение длительного периода. Большую роль в эволюции планеты сыграло появление жизни на ней.

Недавно вероятные планетарные объекты были обнаружены у некоторых звезд главной последовательности. Эти объекты (которые могут

быть коричневыми карликами) имеют массы не более половины массы Юпитера. Их орбиты относятся к пригодной для существования жизни зоне (на планете может присутствовать жидкая вода).

Малые планеты. В 1766 г. И.Д. Тициус и в 1772 г. И.Э. Боде выявили закономерность в расстояниях известных в то время планет от Солнца (табл. 4). Если принять расстояние от Земли от Солнца за 1, то расстояния до других планет можно найти прибавлением числа 0,4 (расстояние до Меркурия) к произведению $(0,3 \cdot 2^n)$. Для Венеры $n = 0$. Именно этот факт послужил одним из стимулов для поиска новых планет. На расстоянии 2,8 а. е. нет никаких больших планет. Однако в 1801 г. Пиацци, директор обсерватории в Палермо, случайно обнаружил очень маленький объект на таком расстоянии от Земли и показал, что он относится к Солнечной системе. Эта малая планета названа Церерой. В 1802 г. была открыта еще одна малая планета – Паллада, двигающаяся на таком же расстоянии от Солнца. Позже был обнаружен еще ряд малых планет, позволивший немецкому астроному и врачу Г. Ольберсу в 1804 г. высказать гипотезу о том, что малые планеты произошли в результате взрыва на куски одной большой планеты, радиус орбиты которой некогда лежал на расстоянии 2,8 а.е. от Солнца.

Таблица 4

Правило Тициуса-Боде для планет Солнечной системы

Планета	Расстояние до Солнца в а. е.	Планета	Расстояние до Солнца в а. е.
Меркурий	0,4	Юпитер	5,2
Венера	0,7	Сатурн	10,0
Земля	1	Уран	19,6
Марс	1,6	Нептун	38,8
Пояс астероидов	2,8		

Астероиды – небольшие каменные объекты, находящиеся, прежде всего, между орбитами Марса и Юпитера. (*Метеорит – это падающий на Землю астероид*). Наблюдения более чем 7000 астероидов в двух или более позициях позволили точно определить их орбиты. Астероиды меньше любой из 8 главных планет Солнечной системы. Около 30 имеют диаметр меньше 200 км. Церера, самая крупная малая планета, имеющая диаметр ≈ 935 км. Паллада, вторая по размеру, – до 535 км. Приблизительно 250 астероидов имеют диаметр по крайней мере 100 км. Миллионы астероидов не больше валуна. Именно они падают на поверхность Земли в виде метеоритов. Самые большие астероиды по форме близки к сфере. Это утверждение основывается на постоянстве их яркости. Меньшие астероиды имеют широкий диапазон форм. Икар, например, является почти сферическим, диаметр только 2 км. Эрос похож на плиту размерами $10 \times 15 \times 30$ км. В 1993 – 1994 гг. космический корабль “Галилео”, проходя через пояс астероидов на пути к Юпитеру, получил изображение астероида с небольшим размером 56 км, имеющего собственный крошечный спутник размером около 1,5 км,

расположенный на расстоянии 100 км. Это самый маленький известный спутник в Солнечной системе.

Какова возможная причина формирования пояса астероидов? Современные данные показывают, что гипотеза о разрыве большой планеты не подтверждается. Вряд ли они могли составлять когда либо одно тело. Одна из гипотез образования пояса астероидов полагает, что он – “заготовка” для планеты, не сформировавшейся из-за гравитационного воздействия Юпитера.

С существованием пояса астероидов связана опасность, которой подвергается Земля. Крупные астероиды могут вследствие тех или иных причин выйти из пояса астероидов и пересечь орбиту Земли, в том числе и упасть на Землю. Оценки показывают, что астероид диаметром 1 км может столкнуться с Землей один раз за 1 млн. лет. В результате столкновения произойдет взрыв силой в несколько водородных бомб, образуется кратер диаметром около 13 км. Некоторые исследователи полагают, что исчезновение динозавров и многих других животных \approx 65 млн. лет назад было вызвано падением на севере полуострова Юкатан астероида диаметром до 10 км.

Кометы. Всякая комета состоит из твердой части (ядра) и газопылевой атмосферы. Ядро кометы имеет диаметр 1 – 2 км, наблюдать ядро нельзя, и лишь косвенные наблюдения дают возможность оценить его массу (около млрд. тонн). Ядро кометы – рыхлое образование, смесь сконденсировавшихся водяного пара, аммиака, метана (космический снежок). Орбиты комет – очень вытянутые эллипсы, периоды обращения – более 100 лет. Только четвертая часть известных комет имеет периоды меньше 7 лет.

Кометы имеют различные периоды: от 3,3 г. для кометы E_{HK} до 2000 лет для кометы Донати. Всего известно более 200 комет, периодически приходящих к Солнцу. Кометы с короткими периодами (от 3 до 9 лет) образуются в области Юпитера. Кометы с периодами в десятки лет образуются в области Нептуна. Известны кометы с периодами в тысячи лет. Первая комета, чья орбита была точно вычислена, получила имя Эдмунда **Галлея**. Она имеет период 76 лет была последний раз на ближайшем расстоянии от Земли в 1986 г. и ожидается в 2062 г. Комета **Хейла-Боппа** одна из самых ярких комет последних десятилетий (период обращения 5900 лет) прошла в 1997 г, Вест – достигла максимального свечения в 1976 г, Григ-Скьеллеруп – май 1987 г, Гиакутакэ – весна 1996 г.

Существует ряд гипотез происхождения комет. По гипотезе С.К. Всехславского, ядра комет – своеобразные вулканические бомбы, выброшенные при извержениях с поверхности главным образом планет – гигантов и их спутников. Действительно, есть основания полагать, что самые далекие от Солнца точки орбит комет группируются вблизи орбит Юпитера и других планет. Кометы, которые нам удастся наблюдать, приходят к нам с далеких окраин Солнечной системы. По сегодняшним представлениям более 100 миллиардов кометных ядер населяют эти окраины.

В 1950 году голландский астроном Ян Оорт, исследуя ряд долгопериодических комет, обнаружил, что их афелии (наиболее удаленные от Солнца точки орбит) концентрируются вблизи границы Солнечной системы. Можно было бы посчитать этот результат мало примечательным, тем более, что количество комет было совсем небольшим – 19. Однако Оорт увидел за этим явление большого масштаба. Он возродил к жизни идею Эпика о хранилище кометных ядер на «задворках» Солнечной системы. Из его исследований вытекало, что зона, оккупированная кометами, простирается в пояс от 30 до 100 тыс. а.е. от Солнца. Как полагают ученые

Как полагают многие ученые, ядра комет, имеющих параболическую или гиперболическую орбиту, удаляясь от Солнца с все уменьшающейся скоростью, на расстоянии порядка 150 тысяч астрономических единиц от него почти останавливаются. Постепенно там образовался огромный рой, миллиарды кометных ядер - так называемое облако Эпика - Оорта. Поскольку тяготение Солнца на столь больших расстояниях ничтожно, ядра могут оставаться там почти без движения бесконечно долго. Лишь изредка, испытав гравитационное возмущение, к примеру, от проходящей недалеко звезды, часть ядер в облаке начинает перемещаться, некоторые из них, возможно, в сторону Солнца.

Сам Оорт полагал на первых порах, что кометы образовались в процессе взрыва Фэтона. Взрыв, по его мнению, был настолько силен, что большая часть мелких осколков была заброшена так далеко, что попала под косвенное влияние соседних звезд, да так и осталась на окраинах Солнечной системы. И хотя красивая гипотеза о Фэтоне оказалась несостоятельной, идея забрасывания вещества из внутренних областей Солнечной системы во внешние, в дальнейшем получила подтверждение.

Т.о. по гипотезе голландского астронома Я.Х. Оорта ядра комет – остатки того протопланетного облака, из которого когда-то возникла планетная система. Из этих областей, расположенных за орбитой Плутона, и приходят кометы. Свои первозданные свойства ядра могли сохранить благодаря своему “постоянному месту” вдали от Солнца и больших планет, оказывающих огромное влияние на ближайшее окружение.

Сегодня механизм образования облака Оорта выглядит приблизительно так. В эпоху гравитационного “склеивания” планет из газопылевого облака формировалось большое количество сгустков вещества или так называемых зародышей. Все, что эти планеты не в силах были поглотить, они выталкивали своим гравитационным полем далеко от своих «участков». Главной помехой в этой выталкивающей деятельности было Солнце, старавшееся удержать даже любую мелочь на ее орбитах. Но чем дальше от Солнца формировалась планета-гигант, тем легче ей было проявлять самостоятельность и по-своему вершить судьбы более мелких тел. Поэтому основным поставщиком кометных ядер в облако Эпика – Оорта был Нептун.

В заключении.... Пояс Койпера недостаточно изучен. Американский космический аппарат достигнет пояса только в 2015 году. Инструментально существование облака Оорта не подтверждено, однако многие косвенные факты указывают на его существование. Мир не перестает удивлять и озадачивать нас все новыми загадками!