



Земля в космическом пространстве

ОБЩАЯ ГЕОЛОГИЯ

Происхождение Вселенной, Солнечной системы, Земли

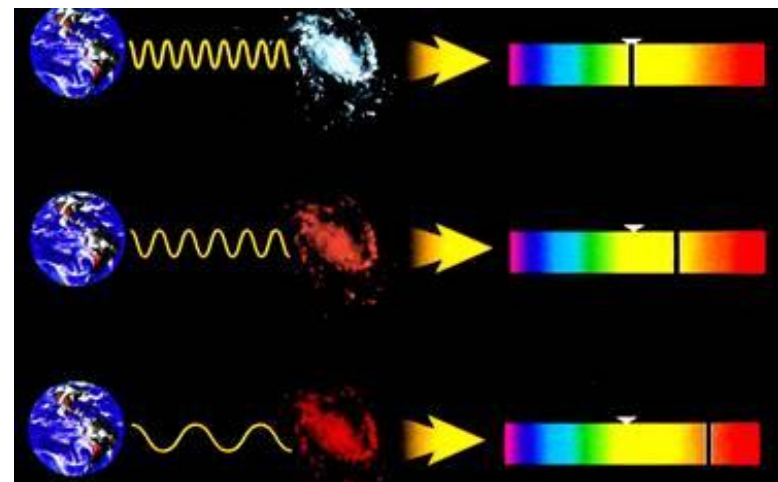
Образование вселенной.

В своей наблюдаемой форме Вселенная возникла около 12 – 15 млрд. лет назад. До этого момента все ее вещество находилось в сингулярном состоянии (в состоянии характеризующимся бесконечно большими плотностей и температур). С некоторого момента, вещество, находившееся в сингулярном состоянии, подверглось внезапному расширению, его можно уподобить своеобразному взрыву (теория расширяющейся вселенной, или Большого Взрыва).



С момента Большого Взрыва вещество Вселенной непрерывно расширяется и все существующие в ней

объекты удаляются на равные расстояния друг от друга. Доказательство «Разбегание» галактик связано с эффектом Доплера. Сущность этого эффекта заключается в том, что спектральные линии поглощения в наблюдаемых спектрах удаляющегося от нас объекта всегда смещаются в красную сторону, а приближающегося - в голубую.



Эффект Доплера. При удалении объекта от наблюдателя спектральные линии смещаются в сторону красного цвета (“красные смещения”)

Все галактики и звезды удаляются от нас, и самые далекие из них удаляются с большей скоростью (Закон Хаббла).

Вторым фактором, доказывающим расширение вселенной, является Реликтовое излучение. Фоновое электромагнитное излучение с длиной волны 7,35 см (эквивалентно излучению абсолютно черного тела с температурой в 2,75K), одинаково во всех направлениях и не зависит от времени суток. Излучение такой низкой температуры является реликтом равновесного электромагнитного излучения с очень высокой первоначальной температурой (около 100 млрд K), существовавшего на самых ранних стадиях образования Вселенной. С момента Большого Взрыва эффективная температура от многих миллиардов упала до трех градусов Кельвина, а реликтовое излучение равномерно заполняет Вселенную.

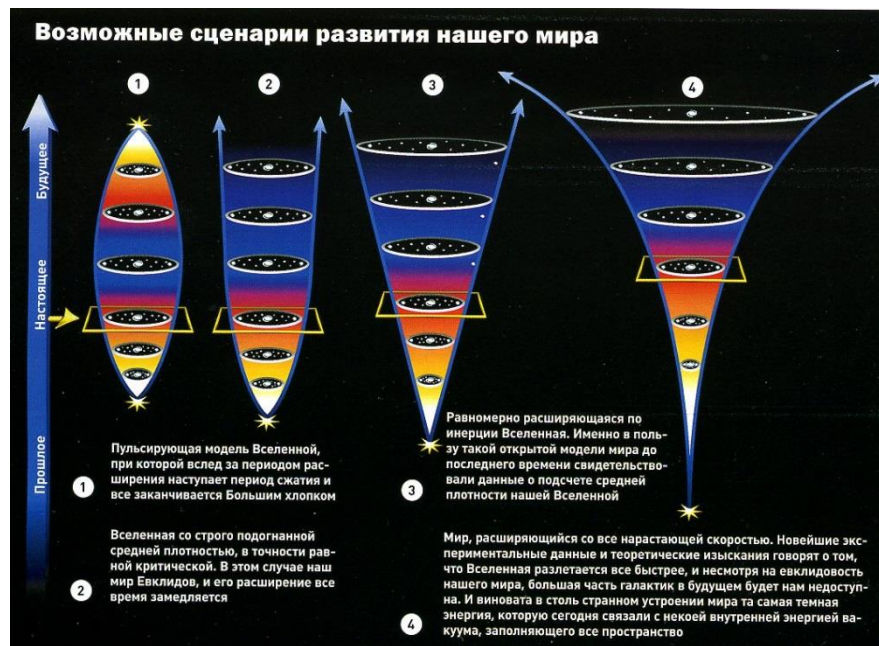
Химический состав вселенной можно представить в пропорции 3:1 водорода(H) и гелия(He). Все остальные

элементы, составляющие Вселенную, не превышают 1%. В первые минуты Большого Взрыва, помимо H и He образовались легкие элементы, литий(Li), дейтерий (2H), тритий(3H), но в ничтожном количестве. Тяжелые элементы образовались гораздо позже, в результате термоядерных реакций.



На данный момент значение плотности Вселенной равно 10^{-29} г/см^3 . Если средняя плотность будет равна или ниже некой критической плотности, то Вселенная будет расширяться, а если будет выше, то расширение Вселенной со временем прекратиться, а возможно начнет

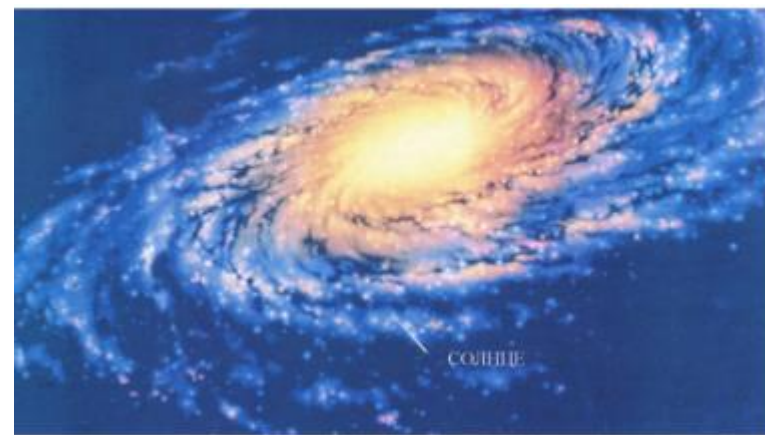
сжиматься, постепенно возвращаясь в сингулярное состояние.



Примерно через 1 млрд. лет после начала Большого Взрыва стали формироваться звезды и галактики (в результате газовых облаков или их протяженных газовых фрагментов). Каждая звезда формируется в результате коллапса космического облака пыли и газа. Постепенно сжатие в центре структуры приводит к очень большим температурам (10-15 млн К), что несет за собой начало

термоядерных реакций (превращения H в He с выделением огромной энергии). В результате излучения термоядерной реакции звезда светится.

Плотность вещества во Вселенной неравномерна. Различие плотности вещества, вероятно, стало причиной возникновения скоплений галактик. В местах с плотностью выше средней гравитационные силы были больше, а, следовательно, уплотнение происходило быстрее чем на соседних участках, от которых вещество смещалось в сторону более плотных сгущений. Так начиналось формирование галактик.

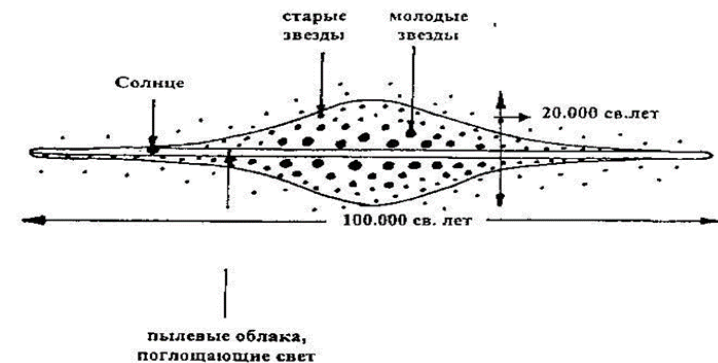


Галактика Млечного пути (компьютерная модель)

Примерно через 1 млрд. лет после начала Большого Взрыва стали формироваться звезды и галактики (в результате газовых облаков или их протяженных газовых фрагментов). Каждая звезда формируется в результате коллапса космического облака пыли и газа. Постепенно сжатие в центре структуры приводит к очень большим температурам (10-15 млн К), что несет за собой начало термоядерных реакций (превращения Н в He с выделением огромной энергии). В результате излучения термоядерной реакции звезда светится.

Плотность вещества во Вселенной неравномерна. Различие плотности вещества, вероятно, стало причиной возникновения скоплений галактик. В местах с плотностью выше средней гравитационные силы были больше, а, следовательно, уплотнение происходило быстрее чем на соседних участках, от которых вещество смещалось в сторону более плотных сгущений. Так начиналось формирование галактик.

Галактика Млечного Пути (ГМП) – одна из 1000 000 миллионов галактик, которые можно наблюдать во Вселенной. Имеет форму уплощенного диска (диаметр – 100 тыс. св. лет, толщина 20 тыс. св. лет). В центре имеется утолщение, состоящее из старых звезд (8-10 млрд лет) и ядро, которое скрыто за облаками плотного газа. Не исключается наличие в центре ГМП «черной дыры», как в ядрах других спиральных галактик. Молодые звезды (100 тыс. – 100 млн лет) в осевой части диска окружены сферической областью – гало, в ней находятся старые звезды.



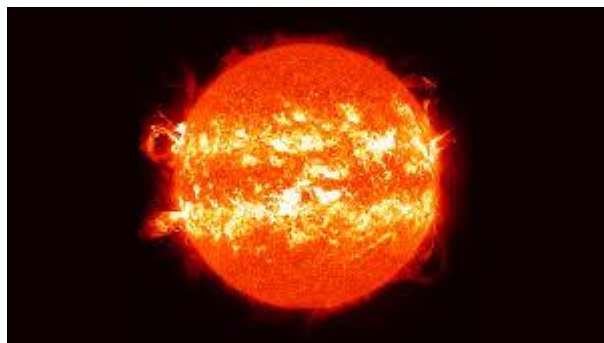
Солнце представляет собой небольшую звезду (700 тыс. км) типа желтого карлика среднего возраста.

Располагается в $3/5$ от центра галактики в пределах главного диска.

С Земли звезды Млечного пути видятся в виде арки, пересекающей небосвод. На данный момент в ГМП насчитывается более 100 млрд звезд. Самая близкая к нам звезда (за исключением Солнца) – Альфа Центавра, находится в четырех световых годах ($9,6 \times 10^{12}$ км).

Все звезды ГМП медленно вращаются вокруг центра галактики. Солнце со своими планетами совершает 1 оборот за 250 млн лет при скорости 240 км/с.

Солнце. Образование Солнечной системы.



Солнце – звезда спектрального класса G2V. Данный класс довольно распространен в ГМП. Диаметр Солнца

приблизительно 1,4 млн км, масса равна $1,98 \cdot 10^{33}$ кг, плотность 1,4 г/см³, однако в центре может достигать 160 г/см³.

В структуре солнца выделяют гелиевое ядро с температурой 15 млн К и давлением 300 млрд атмосфер. Далее располагаются зоны радиации (температура 10-20 млн К) и конвекции (температура 2 млн К). Фотосфера (видимая поверхность Солнца) мощностью до 1 тыс. км и температурой 6-8 тыс. К имеет гранулированную структуру. Внешнюю часть солнечного диска составляет хромосфера – область быстрого увеличения температуры (мощность 15-20 тыс. км). Выбросы фотосферного вещества, поддерживаемые сильными магнитными полями, называются солнечные протуберанцы. Вспышки, факелы, протуберанцы показывают непрерывную активность Солнца. Над хромосферой располагается солнечная корона. Ее мощность 12-13 млн км, а температура 1,5 млн К. Вещество, находящееся внутри Солнца, под давлением внешних слоев, сжимается, увеличивается температура вещества, когда она достигает

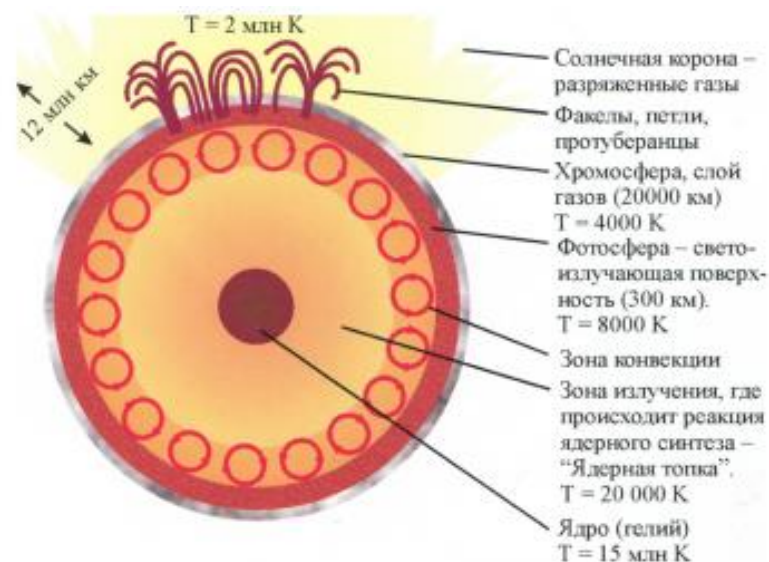
15 млн К происходит термоядерная реакция. Энергия из ядра переходит к внешним сферам Солнца благодаря лучистому и конвективному переносу.

Водород составляет 73% процента по массе в составе Солнца. 25% приходится на гелий. Оставшиеся 2% занимают более тяжелые элементы такие как железо, кислород, углерод, азот и др., всего 67 химических элементов.

В ходе ядерных превращений диаметр Солнца практически не меняется, т.к. тенденция к взрывному расширению уравнивается гравитационным притяжением составных частей Солнца, стягивающим газы в сферическое тело. Солнце обладает сильным магнитным полем.

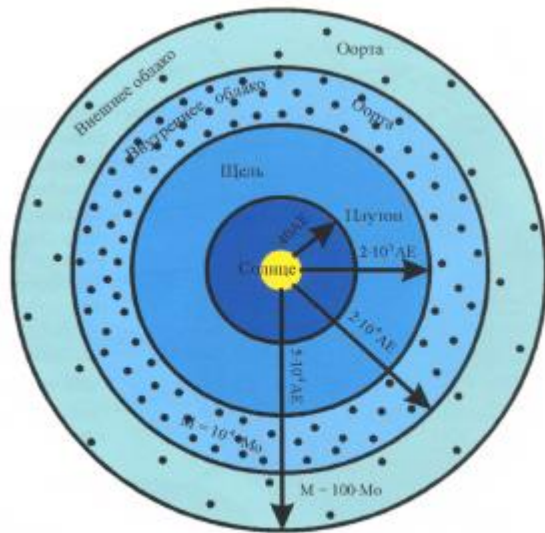
Солнечный ветер исходит от Солнца во все стороны. Он представляет поток плазмы – протоны и электроны, с альфа-частицами и ионизированными атомами С, О и других тяжелых элементов. Скорость

Солнечного ветра около земли достигает 400-500 км/с, а при больших вспышках даже 1000 км/с.



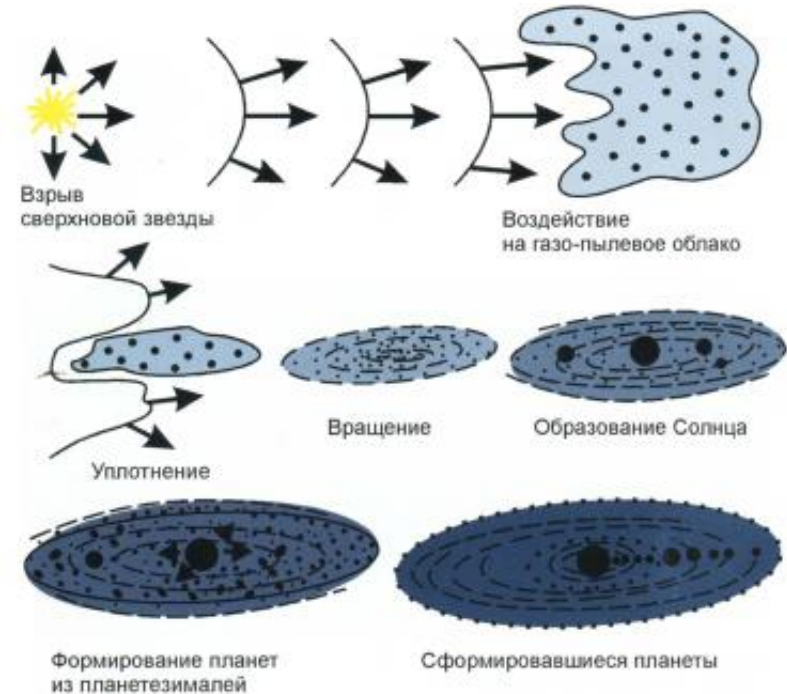
Вокруг Солнца вращается восемь планет. Планеты внутренней группы – Меркурий, Венера, Земля, Марс. Далее, за поясом астероидов, располагаются планеты внешней группы – Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун. За Нептуном находится Плутон. Плутон был ликвидирован из списка планет. Расстояние от Солнца до плутона составляет 40 астрономических единиц. (1 АЕ – 150 млн км, что

равняется расстоянию от Земли до Солнца). За Плутоном располагается кольцо (радиус 10^3 АЕ) практически лишенное вещества. Далее, в интервале от $2 \cdot 10^3$ - $2 \cdot 10^4$ АЕ идет кольцо с огромным количеством комет (внутреннее облако Оорта). Еще дальше, в интервале $2 \cdot 10^4$ - $5 \cdot 10^4$ А.Е. располагается собственно облако Оорта, также состоящее из ядер комет. . По существу, радиус в $5 \cdot 10^4$ А.Е. и определяет современную границу Солнечной системы в широком смысле этого понятия.



Строение Солнечной системы. АЕ – астрономическая единица (150 млн км – расстояние от Земли до Солнца). Мо – масса Солнца

Образование Солнца и планет является одним из фундаментальных вопросов естествознания.



Формирование Солнечной системы: 1 – взрыв сверхновой звезды порождает ударные волны, воздействующие на газо-пылевое облако (ГПО); 2 – ГПО начинает фрагментироваться и сплющиваться, закручиваясь при этом; 3 – первичная Солнечная небула; 4 – образование Солнца и гигантских, богатых газом планет – Юпитера и Сатурна; 5 – ионизированный газ – Солнечный ветер сдувает газ из внутренней зоны системы и с мелких планетезималей; 6 – образование внутренних планет из планетезималей в течение 100 млн лет и формирование «облаков» Оорта, состоящих из комет.

Планеты Солнечной системы.

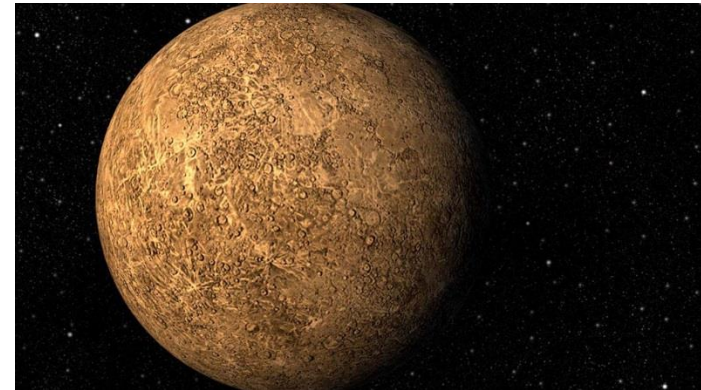
Знание о строение планет, особенно земной группы, представляет большой интерес для геологов, т.к. их внутренняя структура довольно близка к нашей планете.



Внутренние планеты.

Меркурий - одна из самых маленьких безатмосферных планет с диаметром 0,38 по отношению к земному, плотностью 5,42 г/см³, температурой до +450 О С днем на солнечной стороне и до -170 О С ночью. Поверхность Меркурия покрыта многочисленными

ударными кратерами, с диаметром до 1300 км. Обладает очень слабым магнитным полем (1% от земного).



Венера по своим размерам и массе очень близка к Земле, но вращается она в другую сторону, по сравнению с остальными планетами. Венера окутана очень плотной атмосферой, состоящей из углекислого газа, а в верхних слоях на высотах в 50-70 км из серной кислоты. Давление в атмосфере на поверхности очень велико - 96 кг/см² (на Земле 1 кг/см²) и температура +500 О С. Такие условия неблагоприятны для существования воды. Наличие плотной атмосферы выравнивает температурные различия дня и ночи. На Венере нет магнитного поля и это говорит о том, что ядро Венеры отличается от земного

ядра. Примерно 15% поверхности Венеры занимают тессеры, относительно древние породы. На них накладываются более молодые базальтовые равнины и еще более молодые, чем равнины, громадные базальтовые вулканы.



Марс. Это четвертая по счету от Солнца планета намного меньше Земли, ее радиус составляет 0,53 земных. Сутки длятся на Марсе 24 часа 37 мин., а плоскость его экватора наклонена по отношению к орбите также как на Земле, что обеспечивает смену климатических сезонов.



На Марсе существует весьма разреженная углекислая атмосфера с давлением у поверхности 0,03-0,1 кг/см². Такое низкое давление не позволяет существовать воде, которая должна испариться, либо замерзнуть. Температура на Марсе изменчива и на полюсах в полярную ночь достигает -140°C, а на экваторе до - 90 °C. Днем на экваторе температура выше 0 °C и до +25 °C. Атмосфера Марса содержит белые облака из мелких кристаллов CO₂ и H₂O.

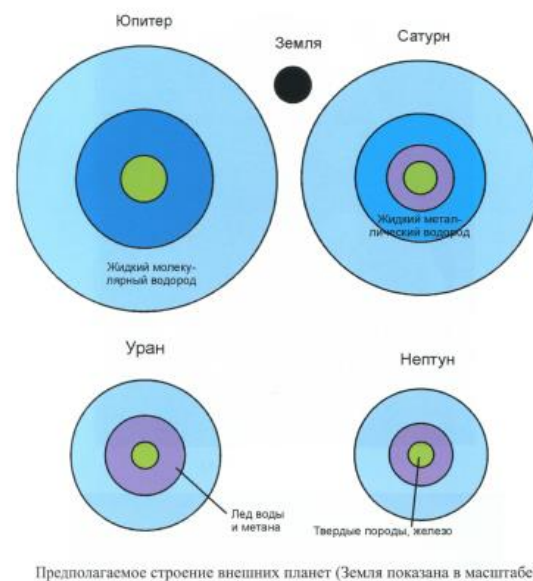
Поверхность Марса подразделяется на базальтовые равнины в северном полушарии, и возвышенности - в южном, где распространены большие ударные кратеры.

На Марсе существуют очень крупные вулканы. Образование этих базальтовых вулканов произошло примерно 100 млн. лет назад и сам факт их существования свидетельствует о большой прочности марсианской литосферы и мощности коры, достигающей 70 км.

Марс обладает двумя маленькими спутниками Фобосом (19x27 км) и Деймосом (11x15 км), неправильной формы с кратерированной поверхностью.

Внешние планеты.

Располагающиеся за поясом астероидов планеты внешней группы сильно отличаются от планет внутренней группы. Они имеют огромные размеры, мощную атмосферу, газово-жидкие оболочки и небольшое силикатное ядро.



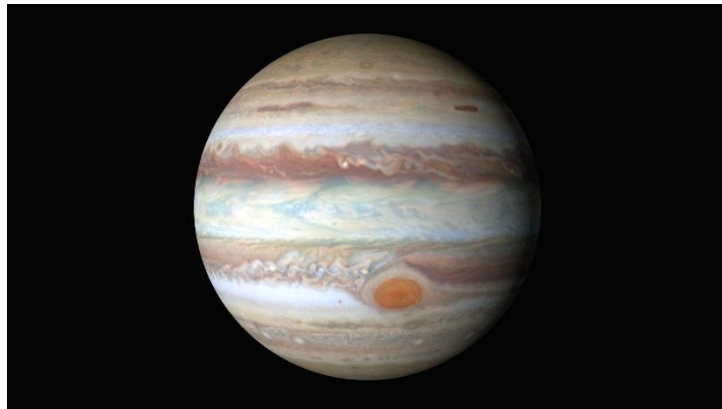
Юпитер по массе равен 317 земным, но обладает малой средней плотностью в 1,33 г/см³. Его масса в 80 раз меньше той необходимой массы, при которой небесное тело может стать звездой. Внешний вид планеты определяется полосчатой системой разновысотных и различно окрашенных облаков. Они образованы конвективными потоками, которые выносят тепло во внешние зоны.

Атмосфера Юпитера достигает 1000 км, а под ней могут находиться оболочки из жидкого молекулярного

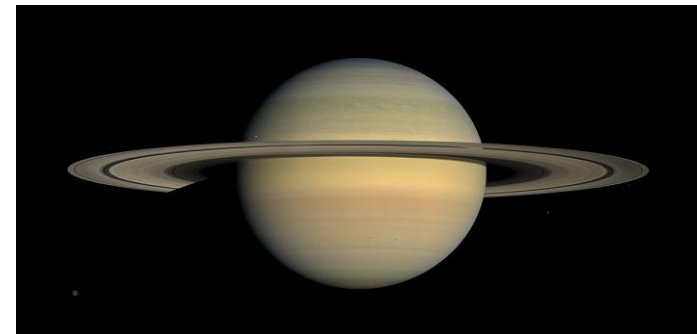
водорода, а еще ниже - металлического водорода. В центре планеты располагается силикатное (каменное?) ядро небольших размеров. Магнитное

поле Юпитера в 10 раз превышает по напряженности магнитное поле Земли, а, кроме того, Юпитер окружен мощными радиационными поясами. Возможно, мощное магнитное поле обусловлено быстрым вращением планеты (9 час. 55 мин.).

У Юпитера существует небольшое кольцо и 16 спутников, из которых 4 крупных, так называемых Галилеевых - Ио, Европа, Ганимед, Каллисто.



Сатурн занимает второе место по размерам среди планет-гигантов, однако его плотность очень мала - 0,69 г/см³. Облачный покров Сатурна похож на таковой у Юпитера. Сатурн в большей степени газовая планета, чем Юпитер. Атмосфера Сатурна состоит, в основном, из Н и Не и обладает мощностью в несколько тысяч км. Ниже, как и на Юпитере, располагается оболочка жидкого молекулярного водорода, мощностью 37000 км, и металлического водорода, 8000 км. Силикатное (каменное) ядро Сатурна, радиусом в 10000 км, окружено слоем льда до 5000 км.



Наиболее известным элементом планеты Сатурн являются его знаменитые кольца, образующие целую систему, находящуюся в плоскости экватора планеты.

Диаметр колец составляет 270 тысяч км, а мощность всего 100 м! Множество колец представляют собой мельчайшие кусочки льда воды, размером от см до нескольких метров. Каждое из колец имеет сложную структуру чередования темных и светлых полос, вложенных друг в друга.

У Сатурна насчитывается 17 спутников, из которых Титан самый большой. Средние по размерам от 420 до 1528 км спутники обладают шарообразной формой, а малые спутники имеют неправильную, угловатую форму и размеры от 20 до 360 км.

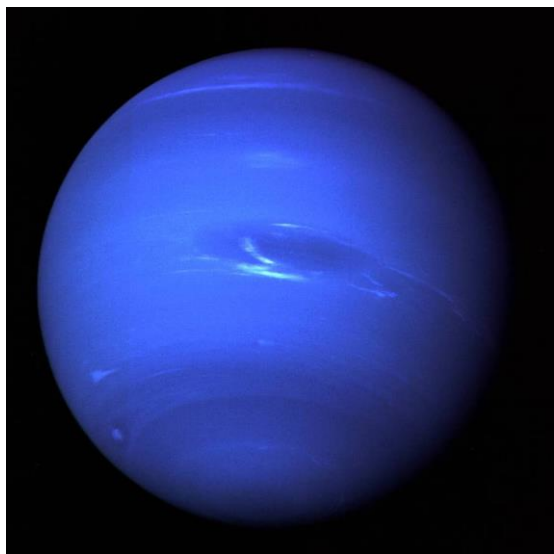
Уран превосходит по своим размерам Землю в 4 раза и в 14,5 раз по массе. Это третья планета - гигант, вращается в сторону противоположной той, в которую вращаются большинство остальных планет. Мало этого, ось вращения Урана расположена почти в плоскости орбиты, так что Уран “лежит на боку” и вращается не “ в ту сторону”. Уран меньше Юпитера, но плотность, в среднем, у него близка к плотности Юпитера, что заставляет сомневаться в существовании оболочки из

металлического водорода, т.к. давление слишком мало. В атмосфере Урана. Как и на других планетах - гигантах, преобладают водород и гелий, но также присутствуют частицы льда метана. Уран окружен системой тонких колец, между которыми расстояние гораздо больше, чем у колец Сатурна. Из 15 спутников Урана 5 средних по размеру и 10 малых, обладающих угловатой формой и похожие на спутники Марса и малые спутники Юпитера и Сатурна.



Нептун - самая маленькая из планет - гигантов, обладает, тем не менее, самой большой среди них

плотностью, что обусловлено существованием силикатного ядра, окруженного оболочками из жидкого водорода, льда воды и мощной водородно-гелиевой атмосферой с облачным покровом, состоящим также из частиц льда воды, льда аммиака, льда метана и гидросульфида аммония. У Нептуна существует система колец, имеющих в разных участках различную мощность. 8 спутников Нептуна с одним крупным - Тритоном и 7-ю малыми, на поверхности которых имеются следы водо-ледяного вулканизма.



Астероиды. Кометы. Метеориты.

Астероиды - космические твердые тела, обладающие размерами, близкими к размерам малых спутников планет, образующие скопления между орбитами Марса и Юпитера.



Многие десятки тысяч астероидов имеют размеры порядка первых десятков км, но есть и крупные: Церера (1020 км диаметр), Веста (549 км), Паллада (538 км) и Гигея (450 км). При столкновениях между собой астероиды дробятся и порождают метеориты, падающие на поверхность Земли. По-видимому, большая часть астероидов состоит из 4-х видов пород, известных нам по

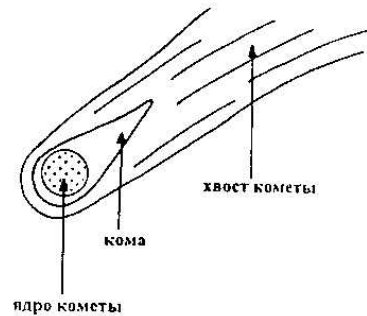
составу метеоритов, это: 1) углистые хондриты, 2) класс S или обыкновенные хондриты, 3) класс M или железо-каменные и 4) редкие породы типа говардитов и эвкритов.

Размещение пояса астероидов между Марсом и Юпитером вряд ли является случайным. На этой орбите, согласно закону планетных расстояний Тициуса-Боде², должна была бы находиться планета, которой даже дали имя - Фазтон, но она раздробилась на осколки, являющиеся астероидами. Данное предположение сейчас считается наименее вероятным, а большим признанием пользуется идея О.Ю.Шмидта, заключающаяся в том, что астероиды никогда не принадлежали распавшейся планете, а представляют собой куски материала, образовавшиеся в результате процессов первичной аккреции газово-пылевых частиц. Их дальнейшее слипание оказалось невозможным из-за сильного гравитационного возмущения со стороны огромного Юпитера и уже сформировавшиеся крупные тела начали распадаться на более мелкие. Важно, что орбиты многих астероидов под влиянием гравитационных сил планет

меняют свое положение. Такие астероиды пересекают орбиту Земли и могут с ней столкнуться. Из геологической истории известны падения крупных космических тел на поверхность Земли, оставивших огромные кратеры - астроблемы ("звездные раны") и сопровождавшиеся катастрофическими последствиями для биоты.

Кометы представляют собой малые тела Солнечной системы, главная часть которых состоит из ядра, сложенного замерзшими газообразными соединениями, в которые вкраплены микронные пылевые частицы, и, т.н. комы - туманной оболочки, возникающей при сублимации ледяного ядра, когда комета приближается к Солнцу. У кометы всегда виден хвост, направленный в сторону, противоположную Солнцу.

Нередко хвост кометы достигает в длину 108 км, хотя его плотность невелика - $10^2 - 10^3$ ионов/см³



Со временем ледяное ядро кометы уменьшается, становится более рыхлым, и оно может рассыпаться, образуя метеоритный поток. Знаменитый Тунгусский метеорит мог быть ледяным ядром кометы.



О происхождении комет существует несколько гипотез, но наибольшей поддержкой пользуется гипотеза

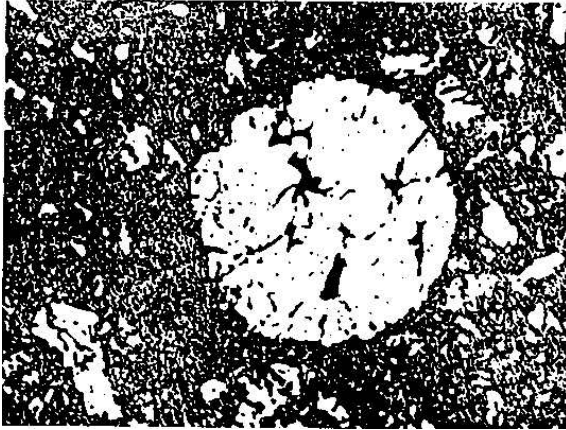
их конденсации из первичного протосолнечного газопылевого облака и последующего перемещения комет в пределы облака Оорта под влиянием гравитации Юпитера и других планет-гигантов. Количество комет в облаке Оорта оценивается в сотни миллиардов.

Метеориты - твердые тела космического происхождения, достигающие поверхности планет и при ударе образующие кратеры различного размера. источником метеоритов является, в основном, пояс астероидов.

Все метеориты по своему химическому составу подразделяются на 3 класса: 1) каменные, наиболее распространенные, 2) железо-каменные и 3) железные.

Каменные метеориты являются наиболее распространенными (64,9 % от всех находок). Среди них различают хондриты и ахондриты. Хондриты получили свое название благодаря наличию мелких сферических силикатных обособлений - хондр, занимающих более 50%

объема породы. Чаще всего хондры состоят из оливина, пироксена, плагиоклаза и стекла.



Кварцевая хондра (диаметр около 2 мм) в кварц-железо-энстатиновой матрице метеорита St.Mark (Кинг, 1979)

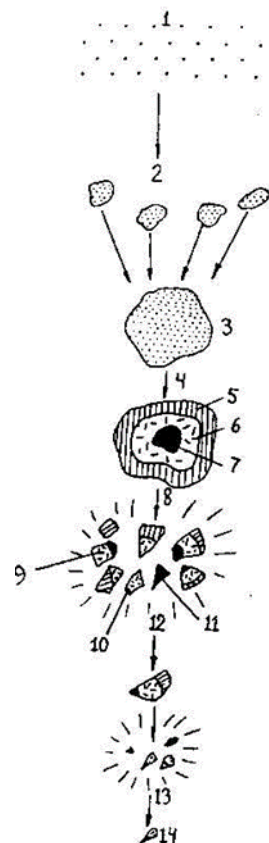
Ахондриты не содержат хондр и по составу близки к земным магматическим ультраосновным породам. Ахондриты подразделяются на богатые Са (до 25 %) и бедные Са (до 3 %).

Железные метеориты по распространенности занимают второе место и представляют собой твердый раствор никеля в железе. Содержание никеля колеблется

в широких пределах и на этом основано разделение метеоритов на различные типы.

Самым распространенным типом являются октаэдриты с содержанием никеля от 6 до 14 %. Судя по тому, что в железных метеоритах хорошо выражены деформации ударного типа, метеориты испытывали столкновения и сильные удары (рис. 1.12).

Железо-каменные метеориты по распространенности занимают третье место и состоят они как из никелистого железа, так и силикатного каменного материала, представленного, в основном, оливином, ортопироксеном и плагиоклазом. Этот силикатный материал вкраплен, как в губку никелистого железа, или наоборот, никелистое железо вкраплено в силикатную основу. Все это свидетельствует о том, что вещество железо-каменных метеоритов прошло дифференциацию.



Образование метеоритов: 1 - газо-пылевое облако; 2 – аккреция в тела размером в метры (планетезимали); 3 – аккреция планетезималей в тела размером 10-200 км; 4 – плавление и дифференциация; 5 – базальты; 6 – силикаты; 7 – железо; 8 – дробление при ударе. Обломки: 9 – железо-каменные; 10 – каменные; 11 – железные; 12 – крупный метеорит; 13 – дробление; 14 – метеорит более мелкий.

Происхождение метеоритов представляет собой важнейшую проблему, по которой существует несколько точек зрения. Наиболее распространенная гипотеза говорит о происхождении метеоритов за счет астероидов в поясе между Марсом и Юпитером. Предполагается, что астероиды в разных частях пояса могли иметь различный состав и, кроме того, в начале своего образования они подвергались нагреву, возможно, частичному плавлению и дифференциации. Поэтому, хондриты, ахондриты, углистые хондриты соответствуют различным участкам раздробившегося родительского астероида. Однако, часть метеоритов, и это уверенно доказано, происходит с поверхности Луны, общим весом более 2 кг, и еще больше, около 80 кг с поверхности Марса. Метеориты лунного происхождения полностью тождественны по минералогическому составу изотопным и структурным характеристикам лунным породам, собранных на поверхности Луны astronautами или доставленных автоматическими станциями.

Метеориты с Марса, общим числом 12, частично были найдены в XIX веке, а частично в наши дни, в частности в Антарктиде в 1984 г. Знаменитый метеорит ALH 84001 весом в 1930,9 г. был выбит с поверхности Марса сильным ударом 16 млн. лет назад, а в Антарктиду он попал 13000 лет назад, где недавно вытаял из льда и был подобран исследователями.