

Модуль №1. «Общая и историческая геология»

Тема №2. Земля в Мировом пространстве; происхождение, строение и состав Земли

Лекция №2.

Солнечная система, ее строение и место во Вселенной.

Основные движения Земли в пространстве.

Общая характеристика Земли (форма, размеры, строение, плотность).

Внутренние геосферы Земли.

Химический состав Земли.

Внешние оболочки Земли (атмосфера, гидросфера).

Магнитное поле Земли.

Гравитационное поле Земли.

Доцент, канд.техн.наук – А.Ю. Белоносов

Тюмень, 2020

Солнечная система, ее строение и место во Вселенной.

Наша Земля - одна из девяти планет Солнечной системы, а Солнце это рядовая звезда - желтый карлик, находящаяся в Галактике Млечного Пути, одной из сотен миллионов Галактик в наблюдаемой части Вселенной. Несмотря на то, что непосредственным объектом изучения геологии является планета Земля, необходимы знания и о других планетах, звездах, галактиках, т.к. все они находятся в определенном взаимодействии, начиная с момента их появления во Вселенной.

Образование Вселенной.

Вселенная содержит лишь 1/9 вещества, из которого, согласно расчетам, должна быть образована масса Вселенной. Следовательно, от нас скрыто 8/9 массы ее вещества. В наблюдаемой форме Вселенная возникла около 18 - 20 млрд. лет назад. До этого времени все ее вещество находилось в условиях бесконечно больших температур и плотностей, которые современная физика не в состоянии описать. Такое состояние вещества называется “сингулярным”. Теорию расширяющейся Вселенной или “Большого Взрыва” (Big Bang, англ.), впервые была создана А.А. Фридманом в России в 1922 г. С какого-то момента, отстоящего от нас на 20 млрд лет вещество, находящееся в сингулярном состоянии, подверглось внезапному расширению, которое можно уподобить взрыву.

Современная теоретическая физика достоверно описывает процессы “Большого Взрыва”, но только после 1/100 секунды с момента его начала. Расширяющееся вещество становилось менее плотным и менее горячим. Теорию не только первоначально очень плотной, но и очень горячей Вселенной в конце 40-х годов развивал знаменитый физик Георгий Гамов. Через 1 млн. лет началось формирование атомов (рис. 1.1). С момента начала Большого Взрыва вещество Вселенной непрерывно расширяется и все объекты в ней и галактики и звезды равноудалены друг от друга. Это расширение “всех от всех” в настоящее время хорошо подтверждается рядом экспериментальных фактов.

1. “Разбегание” галактик и скоплений галактик. Доказательство этого явления связано с эффектом Доплера, заключающимся 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. Это - закон Хаббла. все галактики разбегаются от всех, а не от нас, как центра наблюдения, а Галактика Млечного Пути, в которой находится Солнечная система - это самая рядовая галактика среди миллионов.

2. “Реликтовое излучение”. В 1964 г. американские астрономы Арно Пензиас и Роберт Вилсон с помощью рупорной антенны фирмы “Белл телефон” в штате Нью Джерси, обнаружили фоновое электромагнитное излучение на длине волны 7,35 см, одинаковое по всем направлениям и не зависящее от времени суток. Это излучение эквивалентно излучению, как говорят физики, абсолютно черного тела с $T \approx 2,75 \text{ К}$.

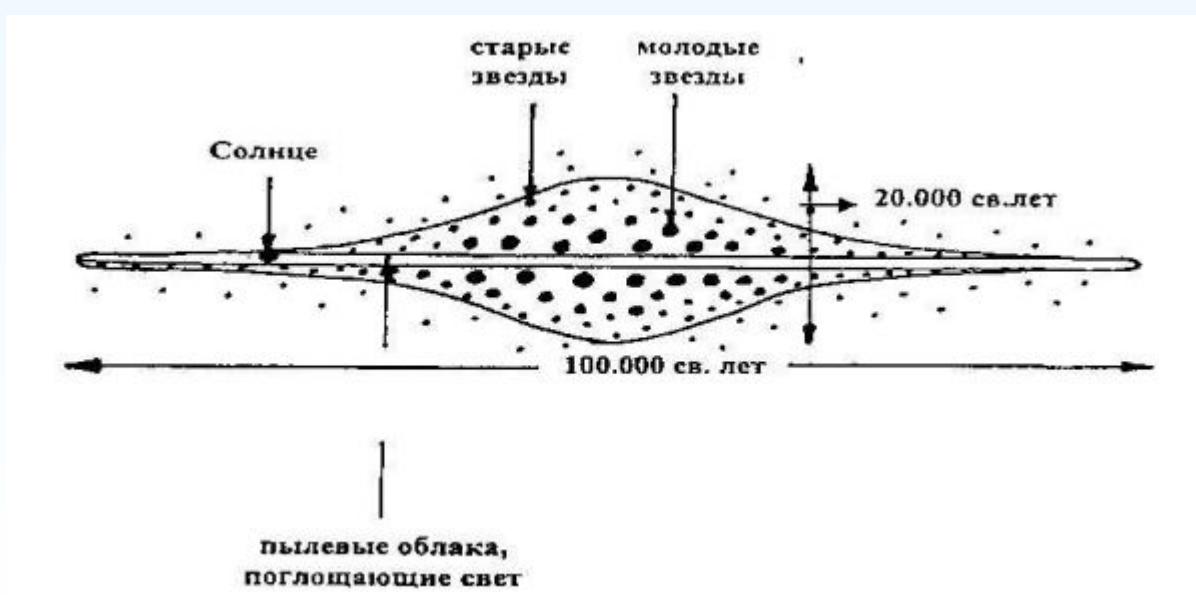
3. Наблюдаемый химический состав Вселенной составляет по массе 3/4 водорода и 1/4 гелия. Все остальные элементы не превышают в составе Вселенной даже 1%. В такой пропорции 3:1 Н и He образовались в самые первые минуты Большого Взрыва, а, кроме того, и легкие элементы: литий, дейтерий, тритий, но в ничтожном количестве. Тяжелые элементы образовались во Вселенной гораздо позже, когда в результате термоядерных реакций “зажглись” звезды, а при взрывах сверхновых звезд они оказались выброшены в космическое пространство.

Согласно закону Хаббла, если средняя плотность будет равна или несколько ниже *критической плотности*, Вселенная будет только расширяться, а если средняя плотность будет выше критической, то расширение Вселенной со временем прекратится и она начнет сжиматься, возвращаясь к сингулярному состоянию.

Спустя примерно 1 млрд. лет после начала Большого Взрыва, в результате сжатия огромных газовых облаков или их протяженных газовых фрагментов, стали формироваться звезды и галактики, скопления миллионов звезд. Образование звезд теоретически рассчитано вполне достоверно. Любая звезда формируется в результате коллапса космического облака газа и пыли. Когда сжатие в центре структуры приведет к очень высоким температурам, в центре “сгустка” начинаются ядерные реакции, т.е. превращение Н в He с выделением огромной энергии, в результате излучения которой звезда и светится.

Обнаруженные в наши дни слабые вариации реликтового излучения в пространстве, равные 0,001 % от средней величины, свидетельствуют о неравномерной плотности вещества во Вселенной. Вероятно, что это первичное различие в плотности и послужило как бы “затравкой” для возникновения в будущем *скоплений галактик и галактик*. Там, где плотность была выше средней, силы гравитации были больше, а, следовательно, уплотнение происходило сильнее и быстрее относительно соседних участков от которых вещество перемещалось в сторону более плотных сгущений. Так начиналось формирование *галактик*. Только 200 лет назад В.Гершель открыл межзвездные облака, а до этого все пространство между звездами считалось эталоном пустоты.

Галактика Млечного Пути (ГМП) - одна из 100 000 миллионов галактик в наблюдаемой части Вселенной, обладает формой уплощенного диска, с диаметром около 100 000 свет. лет и толщиной в 20 000 свет. лет. В разрезе в центре наблюдается утолщение (балдж), которое состоит из старых звезд и ядро, скрытое облаками плотного газа



Строение Галактики Млечного пути. Центральная часть Галактики характеризуется утолщением

Солнце, представляющее собой небольшую звезду среднего возраста типа желтого карлика, располагается в 3/5 от центра галактики в пределах главного диска. То, что оно принадлежит ГМП было установлено всего лишь 65 лет назад шведом Б. Линдбладом и голландцем Я. Оортом.

С Земли, как одной из 9 планет, вращающихся вокруг Солнца, мы видим звезды Млечного пути в виде арки, пересекающей небосвод, т.к. мы смотрим на край ГМП из ее срединной области. В 1610 г. Галилей насчитал в Млечном Пути всего 6 000 звезд. Ближайшая к нам звезда, не считая Солнца, Альфа Центавра - 4 световых года. Все звезды ГМП медленно вращаются вокруг галактического центра. Солнце с планетами совершает один оборот вокруг центра ГМП за 250 млн. лет со скоростью 240 км/сек.

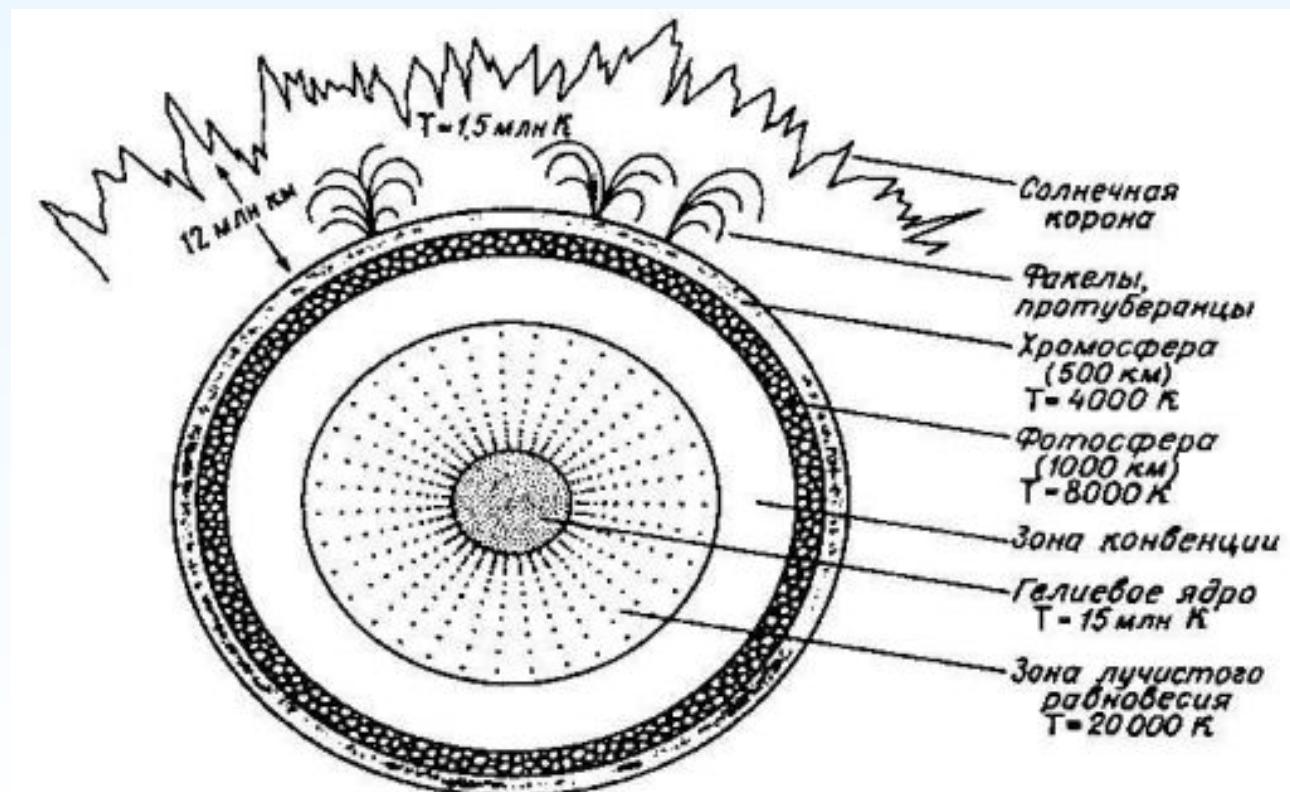
Солнечная система

В центре нашей планетной системы находится звезда - **Солнце**, в котором сосредоточено 99,866 % всей массы системы. На все 9 планет и десятки их спутников приходится только 0,134 % вещества системы. В тоже время 98 % момента количества движения, т.е. произведения массы на скорость и радиус вращения сосредоточено в планетах. В настоящее время известно более 60 спутников планет, около 100 000 астероидов или малых планет и около 1 011 комет, а также огромное количество мелких обломков - метеоритов.

Солнце и его параметры.

Солнце - это звезда спектрального класса G2V, довольно распространенного в ГМП. Солнце имеет диаметр ~ 1,4 млн.км (1 391 980 км), массу, равную $1,98 \cdot 10^{33}$ км и плотность 1,4 г/см³, хотя в центре она может достигать 160 г/см³.

В структуре Солнца различают **внутреннюю часть или гелиевое ядро** с $T \sim 15$ млн.К ($0 \text{ } ^\circ\text{C} = 273 \text{ K}$), далее располагается зона лучистого равновесия - **фотосфера**, мощностью до 1 тыс. км и с T от 800 К на глубине 300 км и до 4000 К в верхних слоях, а самую внешнюю часть Солнечного диска составляет хромосфера, мощностью 10-15 тыс.км с $T \sim 20000$ К.



Внутренняя структура Солнца

Солнечные протуберанцы - это грандиозные выбросы хромосферного вещества, поддерживаемые сильными магнитными полями активных областей Солнца. Хромосферные вспышки, факелы, протуберанцы демонстрируют непрерывную активность Солнца.

Выше хромосферы и фотосферы располагается Солнечная корона мощностью 1213 млн. км и с $T \sim 1,5$ млн. К, хорошо наблюдаемая во время полных Солнечных затмений.

В составе Солнца господствует H, составляющий 73% по массе и He - 25%. На остальные 2% приходятся более тяжелые элементы, также как Fe, O, C, Ne, N, Si, Mg и S, всего 67 химических элементов. Источник энергии Солнца - ядерный синтез, слияние 4-х ядер H-протонов, образует одно ядро He с выделением огромного количества энергии. 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, полярность которого изменяется один раз в 11 лет. Эта периодичность совпадает с 22-летним циклом нарастания и убывания Солнечной активности, когда формируются Солнечные пятна.

Солнечный ветер, исходящий во все стороны от Солнца, представляет собой поток плазмы - протоны и электроны, с альфа-частицами и ионизированными атомами C, O и других более тяжелых элементов. Скорость Солнечного ветра вблизи Земли достигает 400-500 и даже 1000 км/сек.

Солнечный ветер распространяется дальше орбиты Сатурна, образуя т.н. гелиосферу, контактирующую уже с межзвездным газом. Выделение энергии Солнцем, как и T, остается практически неизменным на протяжении 5,0 млрд. лет, т.е. с момента образования Солнца. Атомного горючего - H на Солнце должно хватить по расчетам еще на 5 млрд. лет. Когда запасы H истощатся, гелиевое ядро будет сжиматься, а внешние слои расширяться и Солнце сначала превратится в "красный гигант", а затем - в "белый карлик".

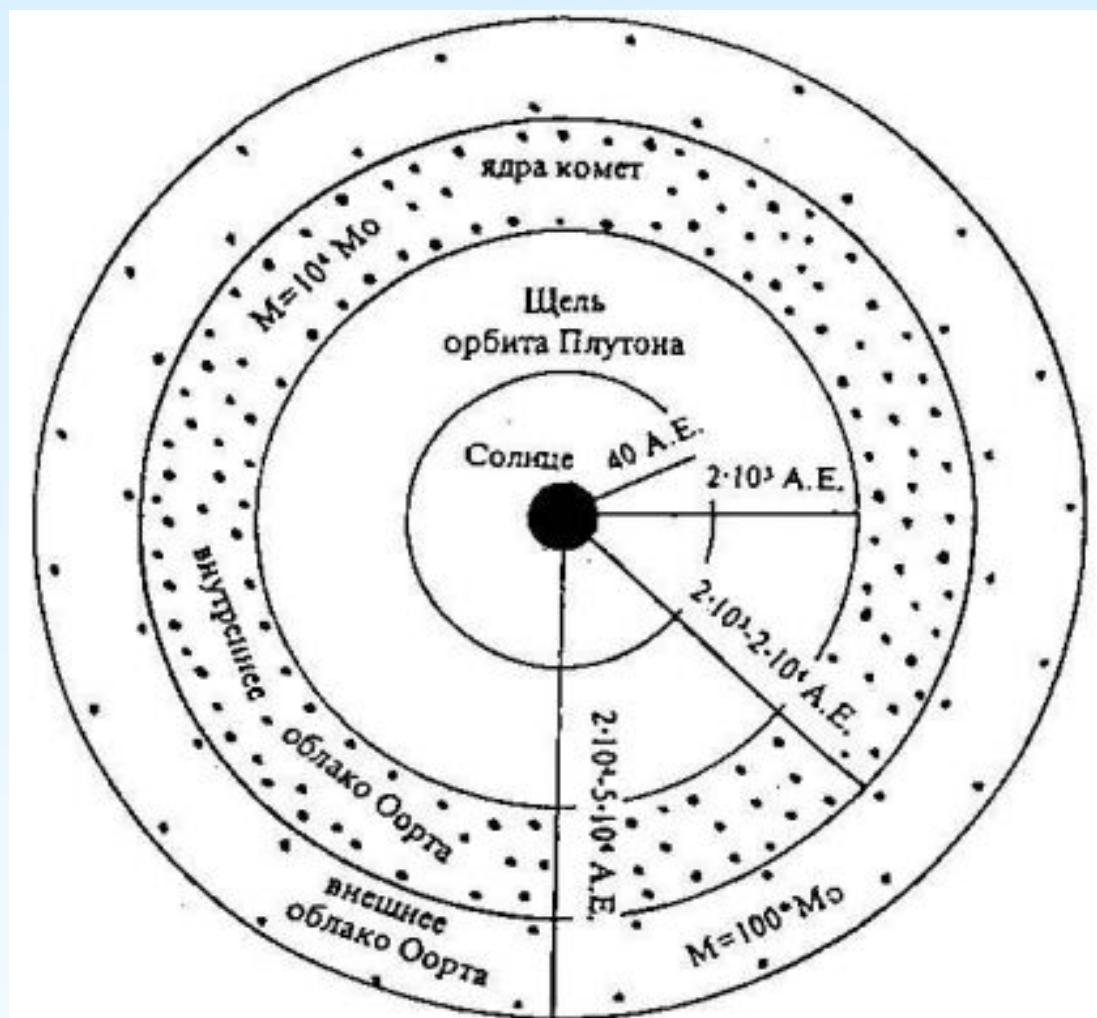
Солнце излучает все типы электромагнитных волн, начиная с радиоволн, длиной во многие км и, кончая, гамма-лучами. В атмосферу Земли проникает очень мало заряженных частиц, т.к. магнитное поле бронирует ее, но даже малая часть заряженных частиц способна вызвать возмущения в магнитном поле или Северное сияние. Тонкий озоновый экран задерживает на высотах около 30 км все жесткое ультрафиолетовое излучение, тем самым давая возможность существования жизни.

Солнечной постоянной называется количество солнечной энергии, поступающей на 1 м² поверхности атмосферы, расположенной перпендикулярно солнечным лучам. Эта величина составляет около 1370 Вт/м². Существует примерное равновесие между поступающей солнечной энергией на Землю и её рассеиванием с поверхности Земли. Это подтверждается постоянством температуры в земной атмосфере. Радиация, исходящая от Солнца, имеющая длины волн больше 24 микрон мала. Остальной спектр от 0,17 до 4 микрон, подразделяют на 3 части. Ультрафиолетовая радиация (0,170,35 микрон) или химическая радиация, крайне вредна для всего живого. Ее доля не превышает 7%. Световая радиация (0,35-0,75 микрон) составляет уже 46%. Инфракрасная радиация, невидимая для глаз (0,76-4,0 микрона) в общем балансе равняется 47%.

Активные явления на Солнце вызывают магнитные бури, меняют прохождения радиоволн, изменяют климат и т.д. Как следствие влияют на геологические процессы.

Строение солнечной системы.

Вокруг Солнца вращаются девять планет. Меркурий, Венера, Земля и Марс, ближайшие к Солнцу планеты относятся к внутренним или планетам земной группы. Далее, за поясом астероидов, располагаются планеты внешней группы - гиганты Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун и маленький Плутон, открытый лишь 1930 г. Расстояние от Солнца до Плутона равняется 40 астрономическим единицам (1 А.Е. = 150 млн. км, расстояние от Земли до Солнца). За Плутоном находится “щель” - кольцо, где практически нет вещества. Далее, в интервале $2 \cdot 10^3 - 2 \cdot 10^4$ А.Е. располагается кольцо с огромным количеством материи в виде ядер комет с массой равной 10^4 масс Солнца. Это, так называемое, внутреннее облако Оорта.



Строение Солнечной системы. А.Е. - одна астрономическая единица (150 млн км). Внутреннее и внешнее облака Оорта содержат огромное количество ядер комет

Еще дальше, в интервале $2 \cdot 10^4 - 5 \cdot 10^4$ А.Е. располагается собственно облако Оорта, состоящее также из ядер комет с общей массой ~ 100 масс Солнца и угловым моментом в 10 раз выше, чем у планетной системы. По существу, радиус в $5 \cdot 10^4$ А.Е. и определяет современную границу Солнечной системы.

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

Меркурий - одна из самых маленьких безатмосферных планет с $D \sim 0,38$ по отношению к земному, плотностью $5,42 \text{ г/см}^3$, с T до $+ 450 \text{ }^\circ\text{C}$ днем на солнечной стороне и до $- 170 \text{ }^\circ\text{C}$ ночью. Поверхность Меркурия покрыта многочисленными ударными кратерами, с диаметром до 1300 км . Застывший мир поверхности Меркурия, напоминает Лунный.

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 $50\text{-}70 \text{ км}$ из серной кислоты. На этих высотах дует постоянный ветер с востока на запад со скоростью до 140 м/сек. , уменьшающийся до $1,0 \text{ м/сек}$ у поверхности. Давление в атмосфере на поверхности очень велико - 96 кг/см^2 (на Земле 1 кг/см^2) и $T +500 \text{ }^\circ\text{C}$. 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 делятся на Марсе $24 \text{ часа } 37 \text{ мин.}$, 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 $0,03\text{-}0,1 \text{ кг/см}^2$. Такое низкое давление не позволяет существовать воде, которая должна испариться, либо замерзнуть. Температура на Марсе изменчива и на полюсах в полярную ночь достигает $-140 \text{ }^\circ\text{C}$, а на экваторе до $- 90 \text{ }^\circ\text{C}$. Атмосфера Марса содержит белые облака из мелких кристаллов CO_2 и H_2O . Ветры на поверхности Марса могут достигать 60 км/час , перенося пыль на большие расстояния.

Поверхность Марса подразделяется на базальтовые равнины в северном полушарии, и возвышенности - в южном, где распространены большие ударные кратеры. На Марсе существуют очень крупные вулканы. В южном полушарии Марса располагается грандиозный каньон Домены Маринер, представляющий собой глубокий, до 10 км рифт, протянувшийся на 4000 км в широтном направлении. Таких структур на Земле нет. В наши дни установлен факт падения на Землю метеоритов, представляющих собой осколки Марсианских пород, выбитых сильным ударом метеорита, упавшего на поверхность Марса. Вода на современной поверхности Марса сосредоточена в виде льда, но под верхним слоем пород.

Марс обладает двумя маленькими спутниками Фобосом ($19 \times 27 \text{ км}$) и Деймосом ($11 \times 15 \text{ км}$).

Располагающиеся за поясом астероидов планеты внешней группы сильно отличаются от планет внутренней группы. Они имеют огромные размеры, мощную атмосферу, газовой-жидкие оболочки и небольшое 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. Светлые облака располагаются выше других и состоят из белых кристаллов аммиака и находятся над восходящими конвективными струями. Более низкие красновато-коричневые облака состоят из кристаллов гидросульфида аммония, обладают более высокой температурой и располагаются над нисходящими конвективными струями.

На Юпитере существуют устойчивые ветры, дующие в одном направлении и достигающие скорости в 150 м/сек. В пограничных зонах облачных поясов возникают турбулентные завихрения. Полное вращение облаков в пятне осуществляется за 7 дней и его внутренняя структура все время изменяется, сохраняя лишь общую конфигурацию. Сам вихрь непрерывно дрейфует и совершает полный оборот за 10-15 лет.

Атмосфера Юпитера достигает 1 000 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, открытых еще в 1610 г. Галилео Галилеем - Ио, Европа, Ганимед, Каллисто. Ближайший спутник к Юпитеру это Ио, по размерам, массе и плотности похожий на Луну. Со спутников зафиксированы извержения из кратеров конусовидных вулканов. Европа близкая по своим параметрам Луне, покрыта льдом воды, мощностью до 100 км, в котором видны протяженные трещины. Судя по тому, что на поверхности Европы почти нет ударных кратеров, она очень молодая. Ганимед, самый крупный из галилеевых спутников (он больше, чем планета Меркурий), обладает плотностью 1,94 г/см³ и сложен смесью льда воды и силикатов. Каллисто по своим размерам и плотности похож на Ганимед и также сложен льдом воды и силикатами. Однако, на участках темного цвета на поверхности Каллисто много ударных кратеров, что говорит в пользу древнего возраста этих участков. Не исключено, что это след от удара крупного космического тела. Все остальные небольшие спутники Юпитера обладают неправильной, угловатой формой, а их размеры колеблются в поперечнике от 16 до 260 км.

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 не только по составу - частицы льда воды, льда аммиака и гидросульфида аммония, но и по своей структуре, образуя разновысотные пояса и вихри. 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 37 000 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. Титан покрыт атмосферой из азота, метана и этана с давлением у поверхности планеты в 1,6 кг/см², поэтому о ее строении ничего не известно. Ввиду низких температур, до -180 С, метан может существовать в жидкой и твердой (лед метана и этана) форме.

Предполагается, что под воздействием ультрафиолетового излучения Солнца в верхних слоях атмосферы Титана из углеводородов могут образовываться сложные органические молекулы, которые опускаясь, достигают его поверхности.

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”. Плотность, в среднем, у него близка к плотности Юпитера. В атмосфере Урана, как и на других планетах - гигантах, преобладают водород и гелий, но также присутствуют частицы льда метана. Уран окружен системой тонких колец. 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. В атмосфере Нептуна, просматриваются крупные вихревые структуры, изменчивые во времени. 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.

Плутон, девятая планета, считая от Солнца, сильно отличается от планет-гигантов и, наверное, им не принадлежит. У Плутона очень вытянутая эллипсоидная орбита, пересекающая орбиту Нептуна при вращении Плутона вокруг Солнца. Разреженная атмосфера Плутона окружает ледяную поверхность планеты, состоящей из льдов азота, метана и монооксида углерода, благодаря холоду — 240 С. Крупный спутник Харон (диаметр 1172 км), состоит из смеси льда и силикатов с плотностью 1,8 г/см³ и в своем вращении вокруг Плутона на расстоянии 19405 км всегда обращен к планете одной и той же стороной.

В настоящее время считается, что Плутон с Хароном могут принадлежать т.н. поясу Койпера, расположенного в интервале 35-50 А.Е. прямо за орбитой Нептуна. В этом поясе находятся много мел размером от сотен км от 1 км до сотен км.

Астероиды, кометы и 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-Боде, должна была бы находиться планета, которой даже дали имя - **Фазтон**, но она раздробилась на осколки, являющиеся астероидами. Эта идея была выдвинута еще в 1804 г. немецким астрономом Г.Ольберсом, 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. Особенно этому подвержены орбиты с большим эксцентриситетом, а также обладающими большими углами наклона к плоскости эклиптики. 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. Не исключена возможность столкновения астероида с Землей и в будущем, поэтому ученые озабочены расчетами уточнения орбит астероидов, которые могут пролететь вблизи Земли.

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.

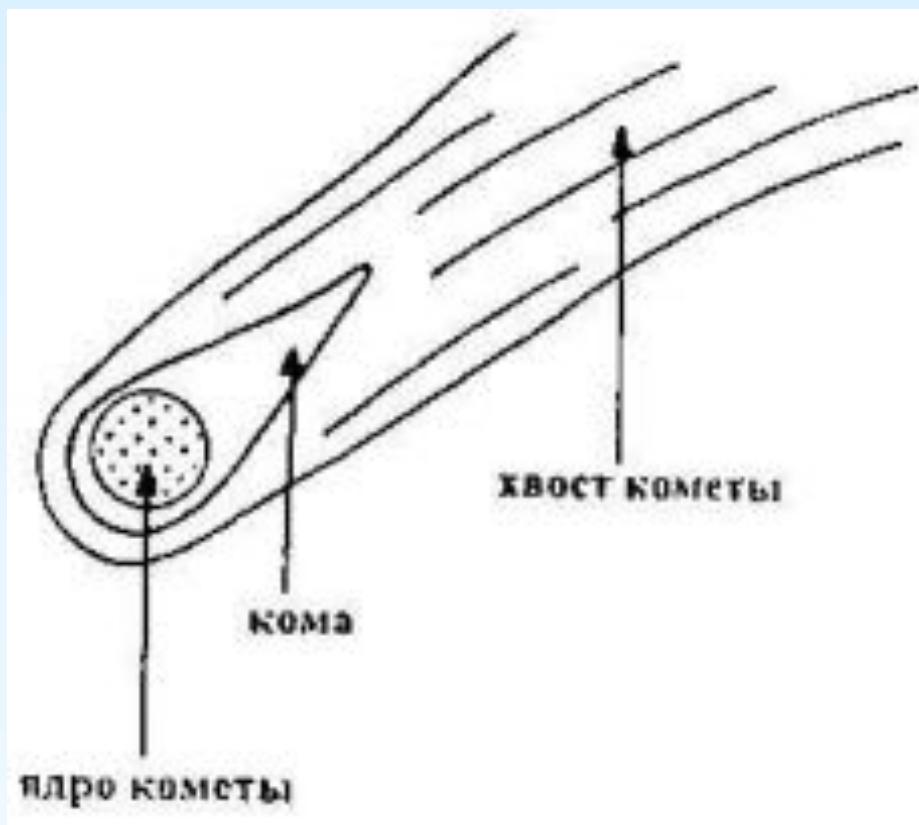


Схема строения кометы. Хвост кометы всегда направлен в сторону от Солнца.

Со временем ледяное ядро кометы уменьшается, становится более рыхлым и оно может рассыпаться, образуя метеоритный поток. Кометы блуждают по космическому пространству и могут то покидать Солнечную систему, то, наоборот, проникать в нее из других звездных систем.

По своему химическому составу кометы близки к планетам-гигантам и метеоритам типа углистых хондритов, о чем свидетельствует спектр комы комет.

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. Когда метеорит входит с большой скоростью в атмосферу Земли, его поверхностные слои разогреваются, могут расплавиться и метеорит “сгорит”, не достигнув Земли. Однако, некоторые метеориты падают на Землю и, благодаря, огромной скорости, их внутренние части не претерпевают изменений, т.к. зона прогрева очень мала. Размеры метеоритов колеблются от микрон до нескольких сотен метров, весом в десятки тонн.

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. 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 %).

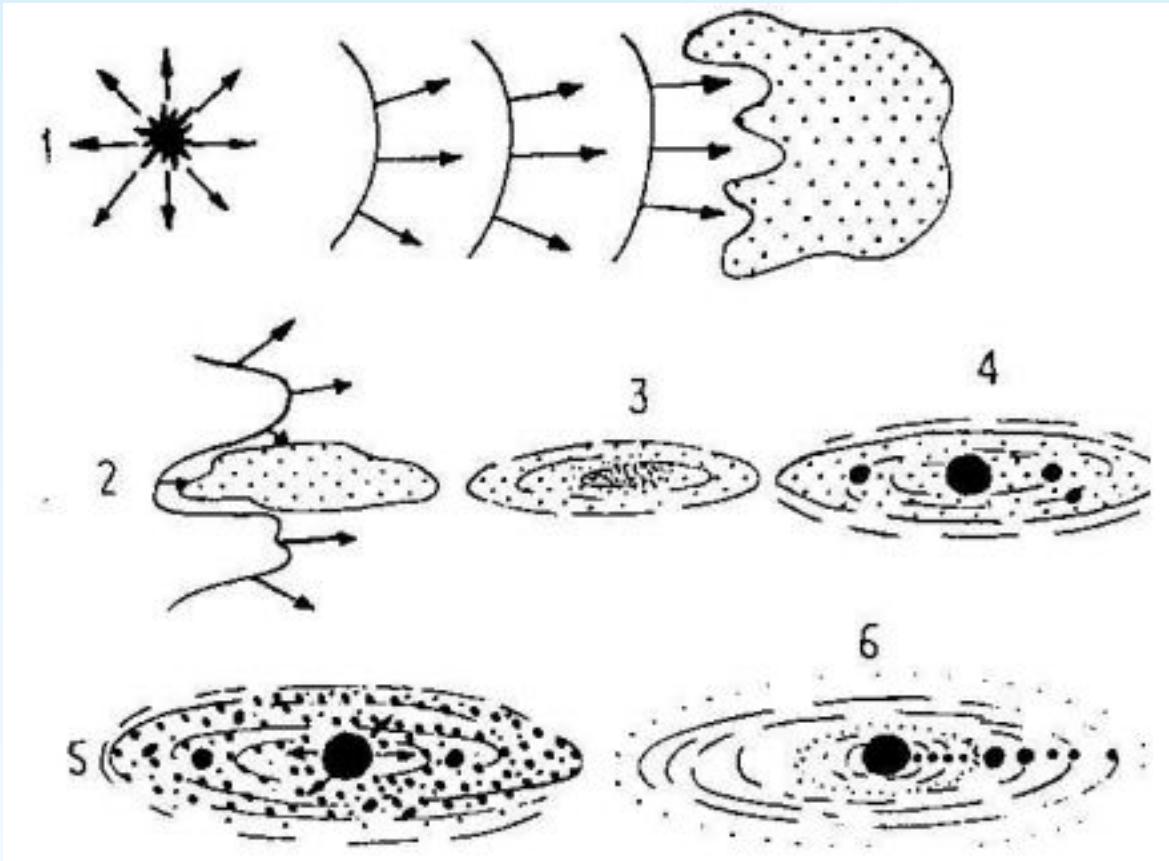
Железные метеориты по распространенности занимают второе место и представляют собой твердый раствор никеля в железе. Содержание никеля колеблется в и на этом основано разделение метеоритов на различные типы. Самым распространенным типом являются октаэдриты с содержанием никеля от 6 до 14 %.

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.

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 астронавтами или доставленных автоматическими станциями.

Происхождение Солнечной системы

Образование Солнца и планет является одним из фундаментальных вопросов естествознания. Джордано Бруно в XVI веке был первым, высказавшим мысль о том, что многие звезды, как и Солнце, окружены планетами и эти системы то возникают, то умирают. Только в XVIII веке благодаря трудам выдающихся ученых Иммануила Канта и Пьера Лапласа сформировалась наука о происхождении всех небесных тел - *космогония*. Они показали, что т.к. движение всех планет подчинено одному закону, то и образование их должно также происходить по единому закону. Именно они высказали идею о газопылевой туманности, первоначально вращавшейся вокруг Солнца, из которой впоследствии и сформировались планеты. С тех пор планетная космогония ушла далеко вперед и современные представления о формировании Солнечной системы выглядят следующим образом.



Формирование Солнечной системы:

1 - взрыв сверхновой звезды порождает ударные волны, воздействующие на газопылевое 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

Звезды типа Солнца - желтые карлики, формируются при сжатии газопылевых облаков, масса которых должна быть не меньше 10^5 массы Солнца. По одной из гипотез повлиял взрыв близкой сверхновой звезды, ударные волны от которого и заставили облако сжиматься и вращаться. По другой - газопылевое облако, в силу своего участия в общем вращении ГМП, начало сжиматься, однако большой момент вращения не допускает дальнейшего сжатия и облако распадается на отдельные сгустки - будущие планеты. Надо отметить, что начальный момент превращения газопылевого облака в протопланетный диск, наименее ясный момент в процессе формирования Солнечной системы.

Как бы то ни было, радиус газопылевого облака должен был быть больше радиуса орбиты девятой планеты - Плутона, равной 40 А.Е. Когда газопылевое облако начало сжиматься и вращаться в дисковидном облаке возникали мощные турбулентные вихри, ударные волны, гравитационные приливы, перемешивающиеся газ облака, которое, благодаря этому оставалось однородным. Время, необходимое для образования диска из облака оценивается всего лишь в 1000 лет, газ при этом охлаждается и образуются более крупные пылевые частицы, конденсируясь из газа, т.к. давление в облаке очень небольшое.

В центральной части диска, благодаря быстрому коллапсу, зажглось Солнце, а при удалении от него в протопланетном диске температура уменьшалась до десятков градусов на краю диска, что подтверждается конденсацией льда воды за поясом астероидов. Итак, частицы пыли перемещались к центральной плоскости диска и чем крупнее была пылинка, тем быстрее она “падала”. Внешние слои диска теряли газ за счет его нагревания излучением молодого Солнца и мощного потока ионизированной плазмы - солнечного ветра. Когда плотность пылевых частиц в субдиске достигала некоторого критического значения, диск стал гравитационно неустойчивым и начал распадаться на отдельные сгущения пыли, причем, чем выше была плотность в сгущении, тем оно быстрее увеличивалось в размерах. Плотные сгустки, размером с хороший астероид, сталкиваясь, объединялись и увеличиваясь в размерах, превращались в рой *планетезималей*, размером до 1 км. Слипание, объединение планетезималей возможно только в случае небольшой скорости, соударения и неровной контактной поверхности, облегчавшей их сцепление. Образование планетезималей заняло не более 1 млн. лет, т.е. произошло с космической точки зрения почти мгновенно.

Важнейшим этапом была аккреция собственно планет из роя планетезималей, занявшая уже гораздо больше времени, около 1000 млн.лет. Эти тела двигались по круговым орбитам, сталкиваясь друг с другом, разрушаясь, выбрасывая газ и пыль, но если тело было крупное, оно не разваливалось от ударов, а, наоборот, присоединяло к себе другие частицы и планетезимали. Чем больше было тело, тем оно быстрее росло и вступало в гравитационное взаимодействие с другими телами, изменяя их орбиты. Именно в этих, наиболее крупных телах и сосредотачивалась основная масса вещества допланетного диска, образуя зародыши планет. Образование группы внутренних планет происходило за счет соударений каменных планетезималей, в отсутствие легких газов, которые удалялись солнечным ветром.

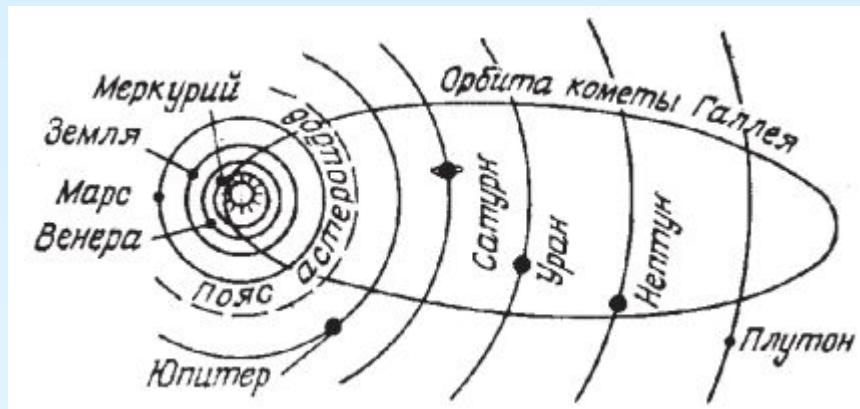
Спутники планет образуются по той же принципиальной схеме, что и сами планеты. Во время аккреции планеты часть планетезималей захватывается силой ее гравитации на околопланетную орбиту. Так у планеты формируется доспутниковый диск, из которого путем аккреции образуются спутники.

В настоящее время Земля состоит из ряда сферических оболочек, в том числе твердого внутреннего ядра, жидкого - внешнего и твердой мантии с тонкой оболочкой - твердой же земной коры. Иными словами, Земля дифференцирована по свойствам и составу вещества. Когда и как произошла эта дифференциация? На этот счет существуют две точки зрения. Первая - Земля, сформировавшаяся сразу после аккреции из планетезималей, состоящих из никелистого железа и силикатов, была однородна и потом подверглась дифференциации на железо-никелевое ядро и силикатную мантию. Эта гипотеза получила название гомогенной аккреции. Более поздняя гипотеза гетерогенной аккреции заключается в том, что сначала аккумуляровались наиболее тугоплавкие планетезимали, состоящие из железа и никеля и только потом в аккрецию вступило силикатное вещество, слагающее сейчас мантию Земли от уровня 2900 км. Эта точка зрения сейчас, пожалуй, наиболее популярна.

Процесс становления нашей планеты по современным данным длился около 500 млн. лет и проходил в 3 фазы аккреции. В течение первой и главной фазы Земля сформировалась по радиусу на 93-95% и эта фаза закончилась к рубежу 4,4 - 4,5 млрд. лет, т.е. длилась около 100 млн. лет. Вторая фаза, ознаменовавшаяся завершением роста длилась тоже около 200 млн. лет. Наконец, третья фаза, продолжительностью до 400 млн. лет (3,8-3,9 млрд. лет окончание) сопровождалась мощнейшей метеоритной бомбардировкой, такой же как и на Луне.

Основные движения Земли в пространстве.

Земля — одна из девяти планет Солнечной системы, диаметр которой (до орбиты Плутона) составляет $5,9 * 10^9$ км. Планеты Солнечной системы движутся по орбитам, наклон которых очень близок друг другу. Именно поэтому планеты и большая часть их спутников обращаются вокруг Солнца практически в одной плоскости; в то же время они вращаются вокруг собственных осей. Данное обстоятельство позволяет показать на одной двухмерной схеме всю Солнечную систему.



Строение Солнечной системы. Планеты обращаются вокруг Солнца по эллиптическим орбитам, которые располагаются почти в одной и той же плоскости

Согласованность движения Солнца, планет и их спутников, за редким исключением, указывает на их общее происхождение из единого облака межзвездной материи.

Все звезды Млечного Пути вращаются вокруг центра Галактики. Солнце и вся Солнечная система, двигаясь со скоростью $240 * 10^3$ м/с, совершают один оборот вокруг него за 230 млн лет. Это так называемый *галактический год*.

В свою очередь Земля вместе со своим естественным спутником — Луной, вращаясь вокруг Солнца по слабо вытянутой эллиптической орбите (радиус $\sim 149,6$ млн км) со скоростью $29,7 * 10^3$ м/с, совершает полный оборот за 365,26 сут. Солнце находится не в центре орбиты, а в одном из ее фокусов, поэтому во время обращения вокруг Солнца Земля периодически то приближается к нему (точка максимального приближения называется **перигелием** — 147,1 млн км), то удаляется от него (точка максимального удаления называется **афелием** — 152,1 млн км). Отношение половины фокального расстояния к длине большой полуоси характеризует сжатие эллипса и называется **эксцентриситетом** ε : $\varepsilon = c/a$,

где c — расстояние от центра эллипсоида до одного из фокусов; a — длина большой полуоси эллипсоида



В настоящее время для Земли $\varepsilon = 0,017$. Это небольшое сжатие орбиты обуславливает сезонные колебания температуры, так как в афелии Земля находится на 5 млн км дальше от Солнца, чем в перигелии. Величина эксцентриситета непостоянна и периодически в течение примерно 200 тыс. лет колеблется от 0,0033 до 0,078, в связи с чем земная орбита становится то более круговой, то более эллипсоидальной, что является одной из причин глобального изменения климата планеты.

Движение Земли вокруг Солнца, как и движение других планет Солнечной системы, описывается тремя законами И. Кеплера (1571—1630 гг.):

- 1) все планеты вращаются вокруг Солнца по эллипсам, в одном из фокусов которых расположено Солнце;
- 2) радиусы-векторы планет описывают в одинаковые отрезки времени равные площади; т. е. чем ближе к Солнцу находится планета, тем быстрее она движется и, наоборот, чем дальше от Солнца планета, тем движение ее медленнее;
- 3) квадраты времени обращения планет вокруг Солнца относятся между собой как кубы больших полуосей их эллипсов.

Позднее И. Ньютон (1643—1727 гг.) доказал, что такое движение планет должно наблюдаться в том случае, если Солнце притягивает планеты с силой, обратно пропорциональной квадрату расстояния до планеты. Согласно открытому И. Ньютоном закону всемирного тяготения, любые две материальные частицы притягивают друг друга с силой, пропорциональной произведению их масс и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними. И. Ньютон установил точную математическую зависимость сил притяжения от массы тел и расстояния между ними и доказал, что именно эти силы управляют движением планет и спутников в нашей Солнечной системе. Законы И. Кеплера оказались следствием закона всемирного тяготения.

Наряду с движением вокруг Солнца, Земля вращается вокруг своей оси, совершая полный оборот за 23 ч 56 мин 4,1 с. Ось вращения образует с плоскостью земной орбиты угол порядка $66^{\circ}33'$. Ориентация оси вращения, а следовательно, и угол наклона со временем меняются. Ось совершает медленное (период 26 тыс. лет) конусо- или волчкообразное вращение относительно перпендикуляра к плоскости орбиты. Это движение земной оси называется **прецессией**. Кроме прецессии для земной оси характерны незначительные по амплитуде изменения угла наклона с периодом в 18,6 лет, которые получили название **нутаций**. Они обусловлены притяжением Солнца и Луны. Фактически прецессия и нутация происходят одновременно, поэтому земная ось описывает в пространстве довольно сложные незамкнутые линии, похожие на окружность.

Скорость вращения Земли вокруг своей оси, как выяснено в последние годы, не остается постоянной. Наблюдаются изменения в величине угловой скорости трех типов:

- 1) вековое замедление;
- 2) нерегулярные скачкообразные изменения;
- 3) периодические колебания.

Вековое замедление вращения Земли обычно приписывается действию лунных и солнечных приливов. Н. Н. Парийский показал, что имеется также некоторое, меньшее по величине, вековое ускорение, которое объясняется скорее всего перераспределением масс внутри Земли.

Нерегулярные изменения угловой скорости происходят через промежутки времени от 10 до 30 и более лет, достигают величины порядка $4,0 \cdot 10^{-8}$ (в 1898, 1920 гг. и др.). Эти изменения невозможно объяснить процессами, происходящими на поверхности Земли или в космическом пространстве. Достаточно указать, что для подобного изменения угловой скорости понадобилось бы либо падение на Землю, касательно к ее поверхности на экваторе, более миллиона метеоритов с массой в миллион тонн каждый, либо сплющивание до уровня моря плоскогорья масштаба Тибетского и т. п. Следовательно, и в данном случае приходится полагать, что причина заложена в глубине Земли. Достаточно изменения плотности (в результате кристаллизации или каких-либо иных процессов) на $0,1 \text{ г/см}^3$ на глубине в 80 км в слое толщиной всего в 180 м, чтобы дать нужный эффект.

Наконец, периодические колебания, с годичным и полугодовым периодом, заключаются в том, что в августе Земля вращается быстрее всего, а весной — медленнее; разница в продолжительности суток в августе и марте составляет приблизительно 0,0025 сек (что соответствует $\Delta\omega : \omega = 2,9 \cdot 10^{-8}$). Причину этих периодических изменений следует видеть в сезонных изменениях атмосферной циркуляции.

В целом масштабы подобных изменений определяются тем, что за время с архейской эры, т. е. за $2 \cdot 10^9$ лет, сутки удлинились приблизительно на 4 часа.

Изучение неравномерности вращения Земли вокруг своей оси связано, с одной стороны, с астрономией (проблема измерения времени), а с другой стороны — с геологией.

Общая характеристика Земли (форма, размеры, строение, плотность).

Диаметр Земли 12 756 км; масса $5,98 \cdot 10^{24}$ кг; средняя плотность Земли 5,51 г/см³; период вращения 23 ч 56 м 4,1 с; период обращения 365,26 суток; эксцентриситет орбиты 0,017; площадь поверхности - 510 млн. км²; объем - $1,083 \cdot 10^{12}$ км³.

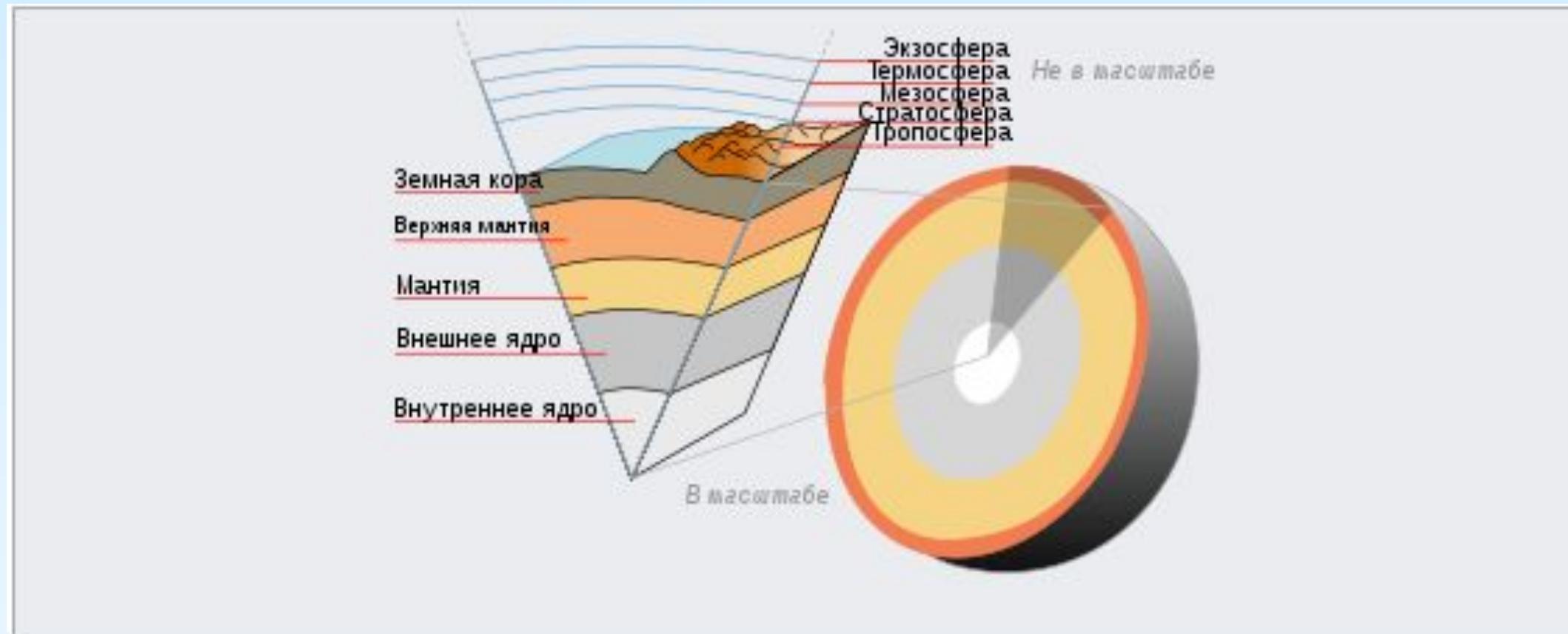
И. Ньютон первым показал, что форма Земли более сложная, чем шар, и доказал, что главным фактором в создании формы Земли является ее вращение и, вызванная этим центробежная сила. Поэтому форма Земли зависит от совместного действия сил гравитации и центробежных. Хорошо известно, что равнодействующая этих сил называется силой тяжести. Многочисленные геодезические измерения позволили доказать, что Земля представляет собой эллипсоид, вычисленный в 1940 г. геодезистом А. А.Изотовым и названный им эллипсоидом Красовского в честь Ф.Н.Красовского известного русского геодезиста. Параметры эллипсоида Красовского: *экваториальный радиус* - 6378,245 км; *полярный радиус* - 6356,863 км; полярное сжатие $a = 1/298,25$. Однако в плоскости экватора наибольший и наименьший радиусы отличаются на 213 м. Следовательно Земля - это трехосный эллипсоид или сфероид, чем определяется воображаемая форма Земли.



Поверхность рельефа, сфероид и геонд

Реальная форма Земли лучше описывается фигурой геоида (землеподобная) - эквипотенциальной поверхностью невозмущенного океана, продолженной и на континенты. Сила тяжести в каждой точке поверхности геоида направлена перпендикулярно к ней. Сейчас построена карта геоида, приведенная к сжатию 1/298,25, с помощью как наземных гравиметрических, так и спутниковых наблюдений. На карте ясно видны впадины и выпуклости на поверхности Земли с амплитудой в десятки метров, так что форма Земли скорее напоминает «обгрызанное яблоко». Аномалии геоида обусловлены неравномерным распределением масс с различной плотностью внутри Земли.

Общая структура планеты Земля



Внутренние геосферы Земли.

Изучение внутреннего строения Земли сопряжено со значительными трудностями. Методы, использующиеся для этой цели, подразделяются на прямые и косвенные. К прямым относятся геологические методы непосредственного изучения горных пород и структур в естественных обнажениях (в береговых обрывах рек, оврагов, на склонах гор) и в искусственных горных выработках (разведочных канавах, шурфах, карьерах, буровых скважинах).

В настоящее время не существует технических средств, позволяющих проникать в недра Земли на сотни и тысячи километров и извлекать оттуда образцы вещества для непосредственного изучения. Поэтому глубинное строение нашей планеты исследуется косвенными методами, основанными на анализе космологических и геофизических данных, то есть на результатах изучения космических тел (в первую очередь метеоритов и Луны) или физических полей Земли соответственно, а также на основе моделирования.

Основную информацию о внутреннем строении Земли дают геофизические методы:

- сейсмические, основанные на регистрации упругих колебаний, вызванных землетрясениями или искусственными взрывами;
- гравиметрические, основанные на изучении поля силы тяжести;
- магнитометрические — изучающие магнитное поле Земли;
- геотермические, изучающие тепловое поле планеты и плотность теплового потока на ее поверхности;
- электрометрические методы, изучающие электропроводность земных недр.

Важнейшим из таких методов является сейсмический, использующий кратковременно возникающее при землетрясениях поле упругих сейсмических волн,

Выделяют два типа сейсмических волн: *объемные* и *поверхностные*, из названий которых видна область их распространения.

Объемные волны бывают *продольными* и *поперечными*. Они были открыты в 1828 г. Пуассоном, а идентифицированы английским сейсмологом Олдгеймом в 1901 г.

Продольные волны - это волны сжатия, распространяющиеся в направлении движения волны. Они обозначаются латинской буквой "P" (primary - первичный, англ.), т.к. у них скорость распространения выше других волн и они первыми приходят на сейсмоприемники.

Поперечная волна, обозначаемая буквой S (secondary - вторичный, англ.), это волна сдвига, при которой и деформации в веществе происходят поперек направления движения волны.

Поверхностные волны, как следует из названия, распространяются в поверхностном слое земной коры. Различают волны Лява и Рэлея. В первых из них колебания осуществляются только в горизонтальной плоскости поперек направления движения волны. Волны Рэлея подобны волнам на воде, в них частицы вещества совершают круговые движения.

Когда происходит сильное землетрясение, сейсмические волны распространяются во все стороны, пронизывая земной шар во всех направлениях. Расставленные по всему миру сейсмические станции принимают сигналы от волн разного типа, преломленных и отраженных. Проходя через слои пород разного состава и плотности они изменяют свою скорость, а, регистрируя эти изменения внутри земного шара можно выделить главные границы или поверхности раздела.

Продольные сейсмические волны, проходя ниже толщи осадочных пород, в большинстве случаев приобретают скорость порядка 5,5—6,0 км/сек. С такой скоростью продольные упругие волны проходят через магматические породы кислого состава, т.е. граниты и близкие к ним породы. Поэтому можно думать, что под слоем осадочных пород залегает так называемая гранитная (в верхней части — метаморфизованная гранито-гнейсовая) оболочка. Мощность этого «слоя гранита» меняется в широких пределах и в некоторых местах достигает нескольких десятков километров.

Несколько иначе ведет себя следующий «слой» — слой базальта. Этот слой обнаруживается по увеличению скорости распространения упругих колебаний, проходящих ниже подошвы «гранитного» слоя, до 6,5 км/сек (для продольных волн), что и соответствует основным породам, таким, например, как базальт. В области обширных и плоских равнин материков, т. е. современных платформ, слой базальта достигает значительной мощности — до 30 км. Под горными хребтами его толщина определяется в 15-20 км, под дном океанов он еще тоньше (от 5 до 15 км).

Осадочный, «гранитный» и «базальтовый» слои вместе образуют оболочку, которая получила наименование **сиаль** — от слов silicium (кремний) и aluminium (алюминий). Обычно полагают, что с сиалической оболочкой целесообразно отождествлять понятие о земной коре. В таком случае земная кора будет обладать наибольшей мощностью (50—70 км) в пределах горных хребтов; в области материков она всюду сохраняет примерно одинаковую толщину порядка 30—40 км, а в области океанов она значительно тоньше — до 10 км. Эти различия послужили основой для выделения трех главных типов земной коры — тип, отвечающий современным горным сооружениям, возникшим на базе молодых кайнозойских геосинклиналей (наибольшая мощность), тип платформенный (обычная, средних значений, мощность) и тип океанический (наименьшая мощность).

Глубже, т. е. ниже слоя «сиаль», скорость распространения продольных упругих колебаний сразу достигает 7,8 км/сек, и здесь должны залегать у л ь т р а о с н о в н ы е породы (еще более богатые железом и магнием, чем основные, и с меньшим содержанием кремне-кислоты). Это так называемая **мантия Земли**, или «**сима**» (от silicium и magnium). В некоторых местах на дне океанов породы мантии, может быть, выходят на поверхность.

Граница между земной корой и мантией, т. е. подошва земной коры, обычно, хотя и не всегда, проявляется с большой резкостью. Упругие и некоторые другие свойства вещества меняются здесь скачком, и потому эта поверхность именуется поверхностью раздела первого рода. Скорость продольных волн в слое «сиаля», в его нижних горизонтах, достигает приблизительно 6 км/сек, а ниже поверхности раздела сразу повышается до 8 км/сек. Эта поверхность часто именуется поверхностью С. Мохоровичича (или Мохо или коротко М), по имени югославского ученого, открывшего ее впервые.

На глубине 2900 км, где обнаруживается новая поверхность раздела первого рода, т. е. подошва мантии или поверхность ядра Земли. Была выделена в 1913 г. немецким геофизиком Бено Гутенбергом и также получила его имя. Эта поверхность отделяет мантию Земли от ядра. Примечательно, что ниже этой границы волны продольные резко замедляются, теряя 40% своей скорости, а волны поперечные исчезают, не проходя ниже.

На глубине 5120 км снова происходит скачкообразное увеличение скорости волн продольных, а путем применения особого метода показано, что там появляются и волны поперечные, т.е. эта часть ядра - твердая.

Таким образом, внутри Земли устанавливается 3 глобальные сейсмические границы, разделяющие земную кору и мантию (граница Мохоровичича), мантию и внешнее ядро (граница Гутенберга), внешнее и внутреннее ядро.

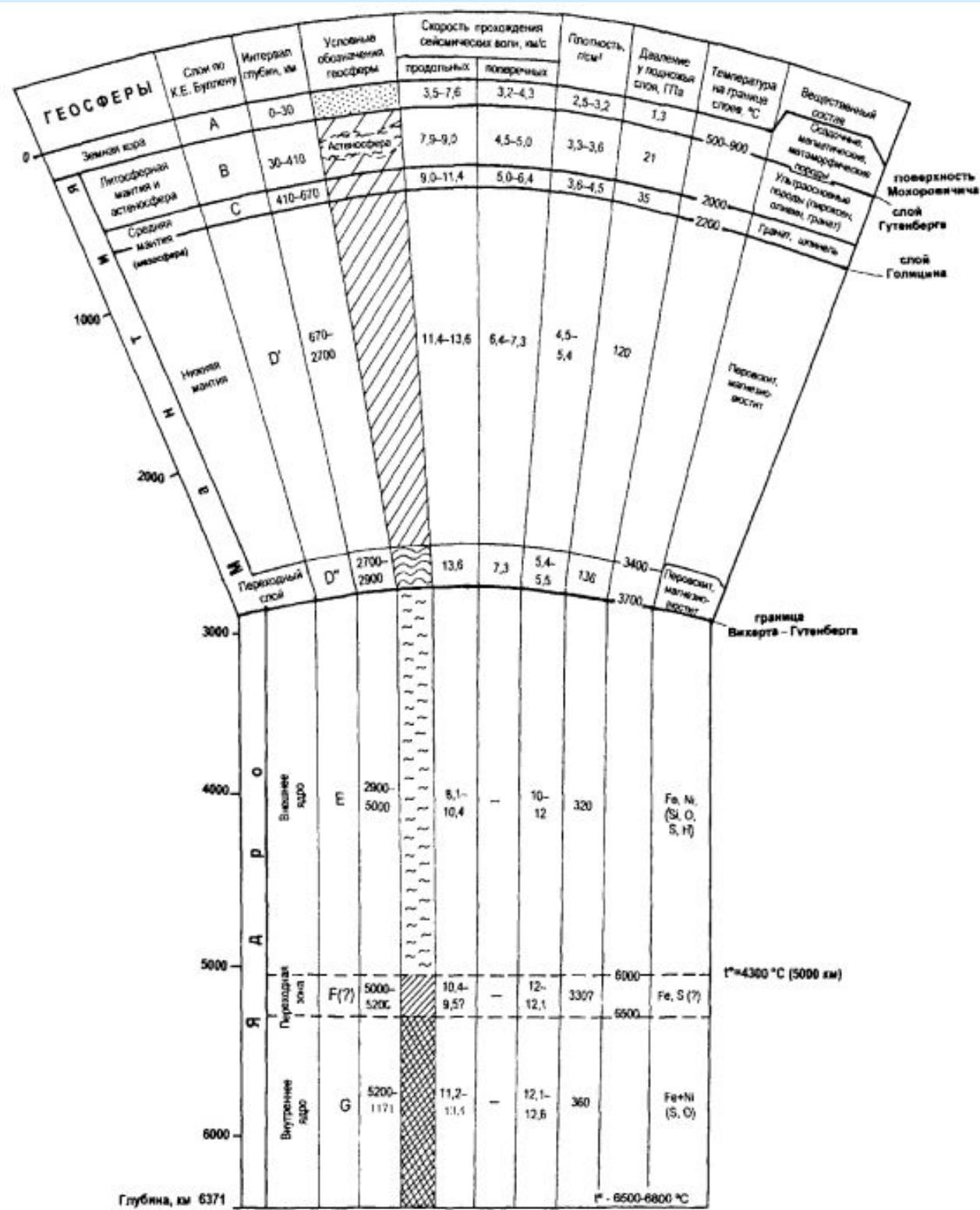
Однако, на самом деле границ, на которых происходит скачкообразное изменение скорости волн продольных и поперечных больше и сами границы характеризуются некоторой переходной областью. Уже давно сейсмолог К. Буллен, разделив внутреннюю часть Земли на ряд оболочек дал им буквенные обозначения. В последние годы была установлена еще одна глобальная сейсмическая граница на глубине 670 км, отделяющая верхнюю мантию от нижней и являющаяся очень важной для понимания процессов, идущих в верхних оболочках Земли.

Ниже поверхности Мохоровичича, скорости сейсмических волн увеличиваются, но на некотором уровне, различном по глубине под океанами и материками, вновь уменьшаются, хотя и незначительно, причем скорость поперечных волн уменьшается больше. В этом слое отмечено и повышение электропроводности, что свидетельствует о состоянии вещества, отличающегося от выше и ниже лежащих слоев верхней мантии. Особенности этого слоя, получившего название астеносфера (“астенос” -слабый, мягкий, древн.греч.), объясняются возможным его плавлением в пределах 1-2%, что обеспечивает понижение вязкости и увеличение электропроводности. Плавление проявляется в виде очень тонкой пленки, обволакивающей кристаллы при T порядка $+1200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Астеносферный слой расположен ближе всего к поверхности под океанами, от 1020 км до 80-200 км, и глубже, от 80 до 400 км под континентами, причем залегание астеносферы глубже под более древними геологическими структурами, например, под докембрийскими платформами, чем под молодыми. Мощность астеносферного слоя, как и его глубина сильно изменяются в горизонтальном и вертикальном направлениях. В современных геотектонических представлениях астеносферному слою отводится роль своеобразной смазки, по которой могут перемещаться вышележащие слои мантии и коры.

Земная кора и часть верхней мантии над астеносферой носит название литосфера (“литос” - камень, греч.). Литосфера холодная, поэтому она жесткая и может выдержать большие нагрузки. На глубине в 1000 км в нижней мантии скорость волн P достигает 11,211,5 км/с, а $V_s = 7,2-7,3$ км/с. На границе нижней мантии и внешнего ядра V_p , уменьшается с 13,6 км/с до 8,1 км/с, затем снова возрастает до 10,5 км/с, но в переходном слое F от внешнего ядра к внутреннему, снова падает и опять возрастает во внутреннем, твердом ядре до 11,2-11,3 км/с, не достигая однако, скорости низов мантии.

Имеются основания говорить о наличии еще нескольких поверхностей раздела в дополнение к уже упомянутым.

Подтверждается наличие слоя необычно быстрого роста скоростей, что наблюдается на глубинах от 410 до 1000 км. Явление это впервые было обнаружено русским ученым Б. Б. Голицыным (в 1912-1913 гг.) и носит его имя «слой Голицына».



Глубинное строение Земли

Глубина, км	Слой
0—60	Литосфера (местами варьируется от 5 до 200 км)
0—35	Кора (местами варьируется от 5 до 70 км)
35—60	Самая верхняя часть мантии
35—2890	Мантия
100—700	Астеносфера
2890—5100	Внешнее ядро
5100—6378	Внутреннее ядро

Плотность Земли - это важный параметр, который косвенно помогает оценить границы раздела внутри Земного шара. Известно, что средняя плотность горных пород на поверхности равна 2,7-2,8 г/см³. В тоже время средняя плотность Земли 5,51 г/см³. Она вычислена на основании периода свободных колебаний Земли, момента ее инерции и общей массы, равной $5,976 \cdot 10^{27}$ г. Однако рост плотности происходит не пропорционально росту глубины. Расчетные данные показывают, что плотность возрастает с глубиной скачкообразно. Наиболее существенные скачки плотности отмечаются на следующих глубинах: 33 км (в среднем), 410, 1000, 2900 и 5200. В соответствии с этим выделяют: земную кору, верхнюю, среднюю и нижнюю мантии, внешнее и внутреннее ядра Земли. В пределах выделенных геосфер плотность вещества меняется таким образом ($n \cdot 10^8$ кг/м³): 1,6—3,2; 3,3—3,63; 4,0—4,6; 4,8—5,5; 10,6—12,3; 13,3—13,6.

Таким образом, изменение и нарастание плотности в целом совпадает с главными сейсмическими разделами в Земле. Заметим, что доля коры в общем объеме Земли равна 1,5%, мантии - 82,3%, а ядра - 16,2%. Отсюда ясно, что средняя плотность в 5,51 г/см³ должна обеспечиваться умеренно плотной мантией и очень плотным ядром, в котором находится 32% массы Земли (а по объему ~16%).

Химический состав Земли.

Определение химического и минерального состава геосфер Земли представляет собой очень сложную задачу, которая во многом может быть решена лишь весьма приблизительно, основываясь на косвенных данных. Прямые определения возможны только в пределах земной коры, горные породы которой неоднородны по своему составу и сильно различаются в разных местах.

В среднем химическом составе горных пород земной коры четко видна разница в составе между континентальной и океанической корой, которая носит принципиальный характер. Верхний слой континентальной коры состоит из гранитов и метаморфических пород, которые обнажаются на кристаллических щитах древних платформ. Нижний слой коры практически нигде не вскрыт, но в его составе должны преобладать основные породы - *базиты*, как магматические, так и метаморфические. Об этом свидетельствуют геофизические и экспериментальные данные. Тем не менее, приведенный выше средний состав земной коры, может быть отнесен только к верхней части земной коры, тогда как состав нижней коры все еще остается областью догадок.

Горные породы, слагающие континентальную кору, несмотря на свое разнообразие, представлены несколькими главными типами. Среди осадочных пород преобладают *песчаники и глинистые сланцы* (до 80%), среди метаморфических - *гнейсы и кристаллические сланцы*, а среди магматических - *граниты и базальты*. Следует подчеркнуть, что средние составы песчаников и глинистых сланцев близки к средним составам гранитов и базальтов, что свидетельствует о происхождении первых за счет выветривания и разрушения вторых.

В океанической коре по массе абсолютно преобладают *базальты* (около 98%), в то время как осадочные породы самого верхнего слоя имеют очень небольшую мощность. Самыми распространенными минералами земной коры являются *полевые шпаты, кварц, слюды, глинистые минералы*, образовавшиеся за счет выветривания полевых шпатов. Подчиненное значение имеют пироксены и роговые обманки.

Состав верхней и нижней мантии может быть определен только предположительно, основываясь на геофизических и экспериментальных данных. Верхняя мантия, ниже границы Мохоровичича с наибольшей долей вероятности сложена *ультраосновными породами*, обогащенными Fe и Mg но в тоже время обедненными кремнеземом. Не исключено, что среди пород верхней мантии много *эклогитов*, которые образуются при высоких давлениях, о чем свидетельствует появление в них минерала граната, устойчивого при том давлении, которое существует в верхней мантии. Основными минералами вещества верхней мантии являются оливин и пироксены. По мере увеличения глубины, твердое вещество мантии скачкообразно, на границах, устанавливаемых сейсмическим методом, претерпевает структурные преобразования, сменяясь все более плотными модификациями минералов и при этом не происходит изменение химического состава вещества, как это показано Д.Ю.Пуцаровским

Глубина, в км	Минеральные преобразования	Границы сфер	
140	Структурная перестройка оливина $\alpha - (Mg, Fe_2) SiO_4$ в вадслеит $\beta - (Mg, Fe)_2SiO_4$	Верхняя мантия	Верхняя часть
520	Структурная перестройка вадслеита в рингвуд - γ -модификацию $(Mg, Fe)_2 SiO_4$ со структурой шпинели		Нижняя часть
400-600	Трансформация пироксена $(Mg, Fe) SiO_3$ в гранат-меджорит $Mg_3 (Fe, Al, Si)_2 Si_3O_{12}$		
670	Шпинелеподобный рингвудит трансформируется в ассоциацию (Mg, Fe) перовскита и Mg-вюстита		
850-900	Пироп $Mg_3 Al_2 Si_3 O_{12} \rightarrow$ в ромбический перовскит $(Mg, Fe) SiO_3$ $\downarrow \rightarrow$ в твердый раствор корунд-ильменита Al_2O_3	Мантия	
1200	Перестройка SiO_2 со структурой стишовита в структурный тип $CaCl_2$ (ромбический аналог рутила TiO_2)		
1700	Изменение характера межатомных связей (металлизация) вюстита FeO		
2000	SiO_2 со структурой $CaCl_2$ переходит в фазу со структурой, промежуточной между $\alpha - PbO_2$ и ZrO_2 ; происходит распад перовскитоподобного $MgSiO_3$; изменение электронной структуры атомов $Fe(HS \rightarrow LS)$ в структуре вюстита FeO ; образование FeO со структурой типа никелина $NiAs$		
220-2300	Трансформация Al_2O_3 со структурой корунда в фазу с ромбической структурой Rh_2O_3 (II)		

Корреляция минеральных преобразований в мантии, уровней глобальных сейсмических разделов (подчеркнуты) и предложенных границ глубинных геосфер, основанных на данных сейсмической томографии (по Д.Ю.Пущаровскому)

Химический и минеральный состав ядра предполагается на основании расчетных давлений, около 1,5 Мбар, существующих глубже 5120 км. В таких условиях наиболее вероятно существование вещества, состоящего из Fe с 10% Ni и некоторой примеси серы во внешнем ядре, которая образует с железом минерал троилит. Как полагает А.А.Ярошевский, именно эта легкоплавкая эвтектическая смесь обеспечивает стабильность жидкого внешнего ядра, выше которого находится твердая силикатная мантия.

Таким образом, Земля оказывается расслоенной на металлическое ядро и твердую силикатную мантию и кору, что обуславливается различной плотностью и температурой плавления, т.е. различиями физических свойств вещества мантии и ядра согласно представлениям А.А.Ярошевского. Эти различия могли сформироваться еще на стадии гетерогенной аккреции планеты.

Земная кора - тонкая оболочка нашей планеты, обогащена легкоплавкими соединениями, образовавшимися при плавлении мантийного вещества. Поэтому магматизм, во всех его проявлениях, и является тем главным механизмом, обеспечивающим формирование легкоплавкой фракции и ее продвижение во внешнюю зону Земли, т.е. формирование земной коры. Магматические процессы фиксируются с самого раннего геологического времени, породы которого доступны наблюдению, а, следовательно, в это же время началась дегазация мантии, в результате чего были сформированы атмосфера и гидросфера.

Первые серьезные исследования, касающиеся распространенности химических элементов, принадлежат американскому геохимику Ф. Кларку. Путем математической обработки имевшихся в его распоряжении результатов 6000 химических анализов различных горных пород Ф. Кларк установил средние содержания в земной коре 50 наиболее распространенных химических элементов. Данные Ф. Кларка, опубликованные впервые в 1889 г., впоследствии уточнялись многими отечественными и зарубежными исследователями: Г. Вашингтоном, В. Гольдшмидтом, Г. Хевеши, В. Мейсоном, В. И. Вернадским, А. Е. Ферсманом, А. П. Виноградовым, А. А. Ярошевским и др.

В знак особой заслуги Ф. Кларка перед геохимической наукой средние содержания химических элементов в земной коре называют Кларками и выражают в весовых, атомных или объемных процентах. Наиболее часто используют весовые кларки элементов.

Весовые кларки наиболее распространенных химических элементов земной коры

Химический элемент	Кларк, вес. %			
	по Ф. Кларку (1924)	по А. П. Виноградову (1962)	по В. Мейсону (1971)	по А. А. Ярошевскому (1988)
Кислород	49,52	49,13	46,60	47,90
Кремний	25,75	26,00	27,72	29,50
Алюминий	7,51	7,45	8,13	8,14
Железо	4,70	4,20	5,00	4,37
Кальций	3,29	3,25	3,63	2,71
Натрий	2,64	2,40	2,83	2,01
Калий	2,40	2,35	2,59	2,40
Магний	1,94	2,35	2,09	1,79
Водород	0,88	0,15	—	0,16
Титан	—	0,61	—	0,52
Углерод	—	0,36	—	0,27

Приведенные данные показывают, что главными элементами-строителями земной коры являются O, Si, Al, Fe, Ca, Na, K, Mg, составляющие более 98 % ее веса. Ведущее место среди них принадлежит кислороду, на долю которого приходится почти половина массы земной коры и около 92 % ее объема. По преобладающим химическим элементам земную кору иногда называют *оксиферой*, а также *сиалической* оболочкой.

Атомы химических элементов в земной коре образуют разнообразные сочетания друг с другом, главным образом химические соединения. Формы их нахождения достаточно многообразны, однако основной формой существования химических элементов в земной коре является минеральная. При этом в одних случаях они образуют самостоятельные минеральные виды, в других — входят в кристаллические решетки других минералов в виде примесей.

Химический состав атмосферы

У поверхности Земли осушенный воздух содержит около 78,08 % азота (по объёму), 20,95 % кислорода, 0,93 % аргона и около 0,03 % углекислого газа. Объёмная концентрация компонентов зависит от влажности воздуха — содержания в нём водяного пара, которое колеблется от 0,1 до 1,5 % в зависимости от климата, времени года, местности. На долю остальных компонентов приходится не более 0,1 %: это водород, метан, оксид углерода, оксиды серы и оксиды азота и другие инертные газы, кроме аргона. Также в воздухе всегда присутствуют твёрдые частицы (пыль — это частицы органических материалов, пепел, сажа, пыльца растений и др., при низких температурах — кристаллы льда) и капли воды (облака, туман) — аэрозоли. Концентрация твёрдых частиц пыли уменьшается с высотой. В зависимости от времени года, климата и местности концентрация частиц аэрозолей в составе атмосферы изменяется. Выше 200 км основной компонент атмосферы — азот. На высоте свыше 600 км преобладает гелий, а от 2000 км — водород («водородная корона»).

Внешние оболочки Земли (атмосфера, гидросфера).

Атмосфера представляет собой газовую оболочку Земли, а **гидросфера** - это прерывистая водная оболочка, состоящая из океанов, морей, озер, рек, болот, подземных вод, ледников и снежного покрова, расположенная на поверхности Земли. В нижней части атмосферы и в гидросфере располагается **биосфера**. Атмосфера и гидросфера ответственны за многие геологические экзогенные процессы.

Состав атмосферы. Воздух вблизи земной поверхности состоит (без водяного пара) из 78% по объему (76% по массе) азота и 21% по объему (23% по массе) кислорода. 1% почти полностью представлен аргоном. Все другие составляющие сухого воздуха, а это - гелий (He), неон (Ne), метан (CH₄), водород (H₂), оксид азота (NO₂), диоксид серы (SO₂), радон (Rn), аммиак (NH₃), озон (O₃) содержатся в ничтожных количествах. Воздух может содержать также частицы, попадающие в него при извержениях вулканов, лесных пожарах и за счет техногенной деятельности человека. Особенно опасны аэрозоли от окисления газов, содержащих серу, хлорфторуглероды. Хорошо известны кислотные дожди, возникающие за счет промышленной деятельности человека. Наибольшая концентрация твердых частиц и аэрозолей наблюдается в приземных слоях атмосферы и на высотах 14 - 25 км в так называемом слое Юнга.

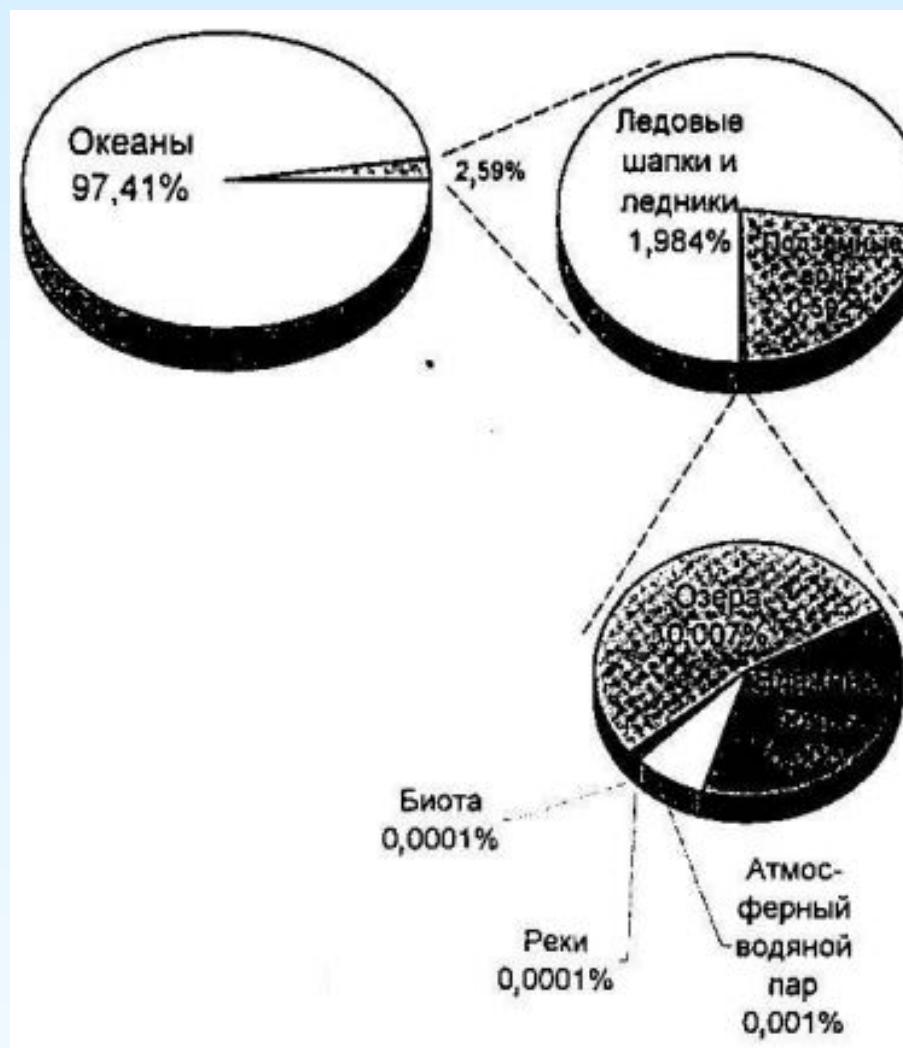


Строение атмосферы характеризуется наличием целого ряда сфер, выделяющихся на основании изменения температуры. **Тропосфера** - это нижний слой атмосферы до 10 км высотой с постоянным падением температуры примерно на 0,6°C на 100 м высоты. На верхней границе тропосферы выделяется слой постоянных температур - тропопауза (1-2 км). Выше, до высот 50-55 км располагается **стратосфера**, в которой наблюдается рост температур до верхней ее границы - стратопаузы, где температура почти такая же, как у поверхности Земли, что связано с поглощением солнечного излучения озоном. Водяной пар содержится в стратосфере в ничтожных количествах, но на высоте около 25 км присутствуют переохлажденные капельки воды, образующие тонкие *перламутровые облака*.

Над стратопаузой до высоты в 80 км находится **мезосфера**, в которой температура снова понижается до -100°C и венчается слой, с давлением воздуха в 100 раз меньшим, чем у поверхности Земли - мезопаузой. В этих 3-х слоях заключено 99,5% всей массы атмосферы.

Выше мезопаузы располагается **термосфера**, в которой температура снова резко повышается до +1200-1500°C на высотах в 250 км, а верхняя граница термосферы находится на уровне 800-1000 км, выше которого выделяется **экзосфера** или **сфера ускользания газов**. Космические исследования показали, что еще до высот в 20 000 км простирается т.н. земная корона, в которой на 1 см³ приходится около 1000 частиц газа.

Гидросфера - это прерывистая оболочка Земли от распространения воды в атмосфере, до нижней границы подземных вод. Водяной пар содержится в атмосфере от 0,2% в высоких широтах до 4% в тропическом экваториальном поясе и постоянно поступает в атмосферу при испарении воды с поверхности водоемов, почвы, а также растительностью (транспирация). Вода Мирового океана покрывает 71% поверхности Земли (361 млн. км²), если сюда присоединить все остальные водоемы, то - 383 млн. км², с учетом зимнего снежного покрова - 443 млн. км², т.е. 83% площади поверхности земного шара.



Роль океанов заключается и в том, что их вода, будучи теплее в среднем, чем атмосфера, на 3°C, непрерывно обогревают последнюю, имея запас тепла в 21 раз больше, чем в атмосфере. Между атмосферой и гидросферой все время осуществляется сбалансированный обмен теплом.

На Земле происходит постоянный и хорошо известный круговорот воды, включающий в себя океаническое и материковое звенья, которые связаны друг с другом, т.к. водяной пар переносится с океана на сушу и, наоборот, а также поверхностным и подземным стоком с суши в океан. Водяной пар, переносимый с океана на сушу составляет 47 км³, в то время как с поверхности Мирового океана ежегодно испаряется 505 тыс. км³ воды, а возвращается атмосферными осадками 458 тыс. км³. На поверхность суши ежегодно выпадает 119 тыс. км³ осадков. Поверхностный сток суши составляет 44,7 тыс. км³/год, а подземный - 2,2 тыс. км³/год, из них водный сток рек - 41,7 тыс. км³/год, а ледниковый сток - 3,0 тыс. км³/год. Естественно, что ледниковый сток Антарктиды больше всего. Атмосферные осадки в каждом конкретном районе суши складываются из влаги, испарившейся в этом районе и влаги, привнесенной извне.

Магнитное поле Земли.

Земля обладает магнитным полем и представляет собой гигантский шар, намагниченный по оси, отклоняющейся от оси вращения примерно на 11,5 градуса. Наиболее вероятной причиной его возникновения являются электрические токи в ядре Земли. По сейсмологическим данным, внешнее ядро Земли обладает свойствами жидкого тела и в значительной степени состоит из железа с примесью других элементов (вероятнее всего, никеля или серы). Вращение Земли, наряду с другими причинами, приводит к возникновению во внешнем ядре турбулентных течений вещества с характеристиками плазмы. Этим явлением обусловлены электрические токи индукционной природы, которые в конечном итоге и создают магнитное поле на поверхности Земли и в околоземном космическом пространстве.

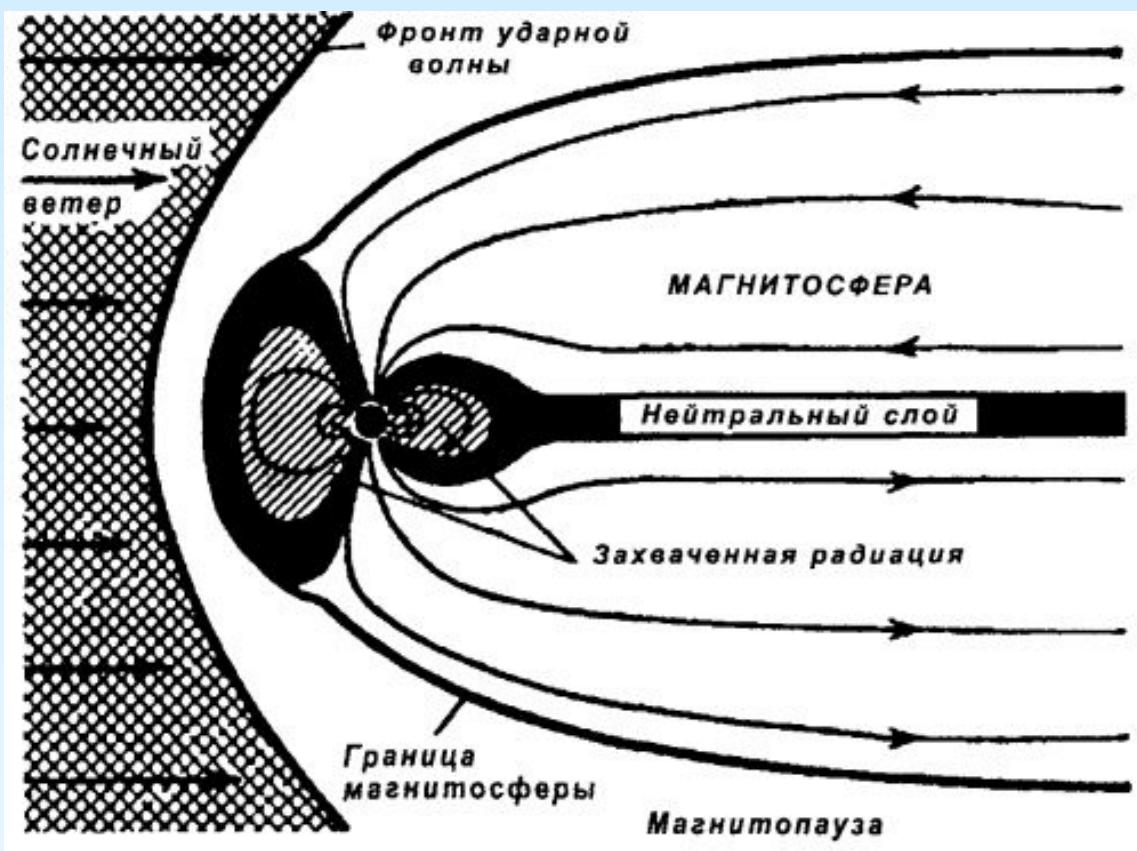
Магнитное поле Земли в первом приближении представляет собой диполь, полюсы которого расположены рядом с географическими полюсами планеты. Поле формирует **магнитосферу**, которая отклоняет частицы солнечного ветра. Они накапливаются в радиационных поясах — двух концентрических областях в форме тора вокруг Земли. Около магнитных полюсов эти частицы могут «высыпаться» в атмосферу и приводить к появлению полярных сияний. На экваторе магнитное поле Земли имеет индукцию $3,05 \cdot 10^{-5}$ Тл и магнитный момент $7,91 \cdot 10^{15}$ Тл·м³.

Согласно **теории «магнитного динамо»**, поле генерируется в центральной области Земли, где тепло создаёт протекание электрического тока в жидком металлическом ядре. Это, в свою очередь, приводит к возникновению у Земли магнитного поля. Конвекционные движения в ядре являются хаотичными; магнитные полюсы дрейфуют и периодически меняют свою полярность. Это вызывает **инверсии магнитного поля Земли**, которые возникают в среднем несколько раз за каждые несколько миллионов лет. Последняя инверсия произошла приблизительно 700 000 лет назад.

Геомагнитное поле существует не только на поверхности Земли, но и на значительном удалении от нее, что убедительно показали измерения с искусственных спутников. Околоземное пространство, в пределах которого геомагнитное поле больше межпланетного, получило название **магнитосферы**.

Магнитосфера — область пространства вокруг Земли, которая образуется, когда поток заряженных частиц солнечного ветра отклоняется от своей первоначальной траектории под воздействием магнитного поля. На стороне, обращённой к Солнцу, толщина её головной ударной волны составляет около 17 км и расположена она на расстоянии около 90 000 км от Земли. На ночной стороне планеты магнитосфера вытягивается, приобретая длинную цилиндрическую форму.

Таким образом, околоземное пространство по характеру магнитного поля делится на три области.



1. *Невозмущенный солнечный ветер.* Он располагается перед фронтом ударной волны.
2. *Магнитопауза,* которая находится между фронтом ударной волны и границей магнитосферы. Ее протяженность составляет несколько земных радиусов. Магнитопауза заполнена солнечной плазмой более плотной и медленной, чем в области солнечного ветра.
3. *Магнитосфера,* которая заполнена частицами высоких энергий, образующих радиационные пояса. Под действием магнитного поля здесь происходит движение заряженных частиц, таких как электроны и протоны. Указанные частицы движутся по определенным траекториям в магнитосфере, образуя электронные и протонные радиационные пояса.

Когда заряженные частицы высокой энергии сталкиваются с магнитосферой Земли, то появляются радиационные пояса (пояса Ван Аллена). Полярные сияния возникают, когда солнечная плазма достигает атмосферы Земли в районе магнитных полюсов.

Магнитное поле современной Земли характеризуется: **склонением, наклонением и напряженностью.**

Основным параметром геомагнитного поля является **напряженность.** Это векторная величина и поэтому характеризуется модулем и направлением. Обычно ее представляют в виде горизонтальной (H) и вертикальной (Z) составляющих.

Магнитная стрелка в геомагнитном поле ориентируется параллельно его силовым линиям. Концы стрелки указывают на северный и южный магнитные полюса Земли, которые не совпадают с географическими полюсами. Угол между направлением северного конца стрелки и направлением на географический полюс называют **магнитным склонением.**

Магнитная стрелка располагается под углом к поверхности Земли. Угол, который образует стрелка компаса с горизонтальной плоскостью получил название **магнитного наклонения.** Точки, в которых магнитное наклонение равно 90° , называют **магнитными полюсами.** Линия, соединяющая точки с нулевым наклонением, называется **магнитным экватором.**

Существуют карты линий равных величин магнитных склонений **изогон** и линий равных магнитных наклонений **изоклин.** На северном магнитном полюсе наклонение равно $+90^\circ$ (на южном соответственно -90°).

Характеристики геомагнитного поля меняются не только в пространстве, но и во времени. Оно может быть двух типов: периодическое и непериодическое. Периодические изменения параметров магнитного поля Земли происходят в течение суток — это так называемые суточные вариации. Они обусловлены суточными изменениями положения Земли относительно Солнца. Среднегодовые изменения магнитного поля получили название вековых вариаций, а их изменение за один год — векового хода. Непериодические изменения получили название магнитных бурь, представляющих собой следствие вспышек солнечной активности и сопровождающихся полярными сияниями, ухудшением или прекращением коротковолновой радиосвязи. Считается, что магнитные бури обусловлены взаимодействием корпускулярного излучения Солнца, с магнитным полем Земли.

Вековые вариации всех остальных элементов магнитного поля установлены достоверно и регулярно составляются специальные карты изопор, т.е. линий равных годовых изменений какого-либо элемента магнитного поля. Такие карты можно использовать в определенный, не более 10 лет, интервал времени, в связи с периодичностью вековых, “быстрых” вариаций. Все магнитные материковые аномалии, например, изогоны, медленно, со скоростью 22 (0,2 % в год) км, смещаются в западном направлении. Западный дрейф обусловлен процессами, связанными с генерацией магнитного поля Земли.

Определяя местоположение магнитных полюсов в разные геологические эпохи, ученые пришли к выводу о том, что полюса перемещались по поверхности Земли. Более того, происходили инверсии магнитного поля: северный и южный магнитные полюсы менялись местами. Периодичность инверсий оценивают от 5 до 20 млн лет. В настоящее время периоды смены магнитных полюсов увеличиваются.

Напряженность современного магнитного поля составляет около 0,5 эрстед или 0,1 а/м, и считается, что в геологическом прошлом величина напряженности могла колебаться, но максимум на порядок. Геомагнитное поле Земли последние 2,0-3,5 млрд лет принципиально не изменялось. Напряженность поля становится больше или меньше нормы. Отклонения напряженности поля от нормальных значений для данной местности называют магнитными аномалиями. Причина их — изменение состава горных пород в разрезе земной коры.

Геомагнитное поле оказывает воздействие на горные породы, слагающие земную кору. Все вещества по воздействию на них магнитного поля делятся на ферромагнетики, парамагнетики и диамагнетики. Причем только ферромагнетики под действием магнитного поля приобретают существенную намагниченность и сами становятся магнитами.

При снятии внешнего поля у ферромагнетиков частично остаются магнитные свойства. Это явление получило название остаточной намагниченности. Она сохраняется, если порода в последующие периоды не нагревалась выше точки Кюри (температуры, при которой вещество полностью размагничивается), а также если первичные магнитные минералы не заместились немагнитными вторичными минералами.

Зная ориентировку геомагнитного поля для данного времени и ориентировку вектора остаточной намагниченности пород этого возраста, можно определить географические координаты места образования пород и проследить путь их перемещения. Такого рода реконструкции первоначального положения отдельных крупных участков земной коры получили название палинспастических реконструкций.

Геология и геофизика используют геомагнитное поле для изучения геологического строения отдельных участков земной коры (различные виды магнитометрических съемок), глубинного геологического строения (магнитотеллурическое зондирование), поисков и разведки месторождений полезных ископаемых, значительно отличающихся от окружающих пород по своим магнитным свойствам.

Гравитационное поле Земли.

Гравитационное поле или поле силы тяжести на поверхности Земли складывается в основном из двух сил — притяжения и центробежной. Центробежная сила на полюсах отсутствует, поэтому тела с одинаковой массой на полюсе весят больше, чем на экваторе.

Закон распределения силы тяжести g на поверхности Земли был выведен в XVIII в. французским математиком А. К. Клеро:

$$g = g_э + (g_п - g_э) \cdot \sin^2 \psi,$$

где $g_э$, $g_п$ — ускорение силы тяжести соответственно на экваторе и на полюсе; ψ — географическая широта.

В настоящее время пользуются следующей международной формулой нормального распределения силы тяжести

$$g = 978,049 (1 + 0,0052884 \sin^2 \psi - 0,0000059 \sin^2 2\psi).$$

В соответствии с этой формулой на полюсах $g = 9,83 \text{ м/с}^2$, а на экваторе $g = 9,78 \text{ м/с}^2$. Однако эти расчетные значения ускорения силы тяжести отличаются от истинных в результате искажающего влияния высоты местности, масс, заключенных между уровнем измерения и уровнем моря, а также рельефа. Поправки, которые вносятся в измеренное поле силы тяжести, называются **редукцией Буге**. Они позволяют сравнивать между собой результаты измерений в разных условиях. Отклонение фактических данных измерения ускорения силы тяжести от теоретических значений, рассчитанных для поверхности референц-эллипсоида, получило название **гравитационных аномалий**.