

§ 64. Большие планеты солнечной системы

Земля

Напомним, что атмосфера Земли — это внешняя газовая оболочка, которая начинается у её поверхности и простирается в космическое пространство приблизительно на 2000 км.

Атмосфера имеет очень большое экологическое значение. Она защищает все живые организмы Земли от губительного влияния космических излучений и ударов метеоритов, регулирует сезонные температурные колебания, уравнивает и выравнивает суточные. Если бы атмосферы не существовало, то колебание суточной температуры на Земле достигло бы $\pm 200^{\circ}\text{C}$.

Атмосферу условно разделяют на несколько слоев (рис. 169). Это связано с характерными особенностями изменения температуры в каждом слое.

Рис. 169. Строение атмосферы Земли

Нижняя часть атмосферы, достигающая высоты 8—10 км в полярных областях и 16—18 км в экваториальной, называется *тропосферой*. В ней сосредоточено 4/5 всей массы атмосферного воздуха. Для дыхания пригоден только её нижний, достаточно плотный слой толщиной до 5 км. В направлении от поверхности Земли к верхней границе тропосферы, т. е. при удалении от нагретой Солнцем и излучающей тепло Земли, температура воздуха понижается.

Облака образуются в основном в пределах тропосферы, так как в ней содержится почти весь водяной пар атмосферы. В тропосфере протекают процессы, определяющие погоду, например формируются и перемещаются циклоны и антициклоны.

Над тропосферой лежит *стратосфера* — очень важная для жизни на Земле часть атмосферы. Именно в ней располагается озоновый слой, поглощающий идущее от Солнца сильное ультрафиолетовое излучение. В больших количествах оно представляет опасность для здоровья и жизни. Поглощая ультрафиолетовое излучение, озон нагревает стратосферу, благодаря чему её температура возрастает с высотой.

За стратосферой следует *мезосфера* (что в переводе с греческого означает «средняя, промежуточная сфера»). Над мезосферой до высоты порядка 800 км простирается *термосфера*. В ней до высоты 200—300 км температура растёт, достигая 1000—1500 $^{\circ}\text{C}$ вследствие ионизации атмосферного кислорода и других газов ультрафиолетовыми и



рентгеновскими лучами Солнца и космическим излучением. Области, где происходит ионизация, называют *ионосферой*. Благодаря наличию заряженных частиц, ионосфера отражает радиоволны коротковолнового диапазона и тем самым даёт возможность принимать радиопередачи с больших расстояний.

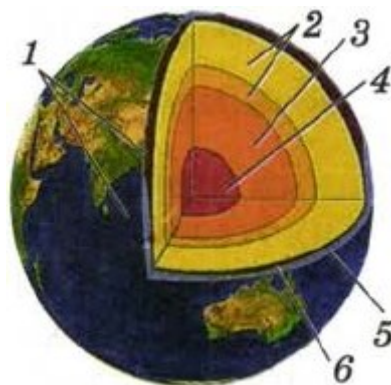


Рис. 170. Внутреннее строение Земли: 1 — континентальная кора; 2 — мантия (верхняя и нижняя); 3 — внешнее ядро; 4 — внутреннее ядро; 5 — океан; 6 — океаническая кора

Внутреннее строение Земли показано на рисунке 170. Верхняя твёрдая оболочка Земли называется *корой*. Из рисунка видно, что толщина земной коры в разных местах различна. В центральной части планеты находится железоникелевое ядро, температура и давление которого могут достигать соответственно $7000\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $3,6 \cdot 10^6$ атм. Внешняя часть ядра жидкая, внутренняя — твёрдая. Часть Земли, расположенная непосредственно под корой и выше ядра, называется *мантией*. В мантии находится большая часть вещества Земли.

Исследования показали, что упругие поперечные волны распространяются в глубь Земли только до глубины 2920 км. Очевидно, здесь начинается внешнее жидкое ядро.

С существованием жидкого внешнего ядра связывают происхождение магнитного поля Земли. Движение электропроводящего вещества в жидком горячем (порядка $10\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$) ядре планеты возбуждает электрические токи, порождающие магнитное поле (рис. 171).

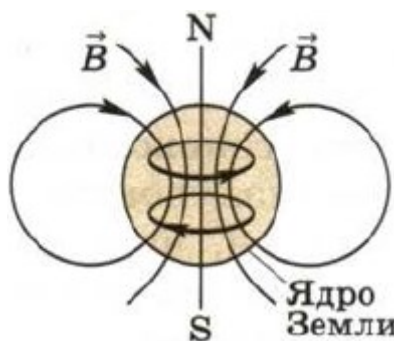


Рис. 171. Линии индукции магнитного поля Земли

Земля обладает самым сильным магнитным полем по сравнению с другими планетами земной группы. Магнитное поле Земли время от времени изменяет свою ориентацию, совершая и вековые колебания с периодом несколько сотен лет. Кроме того, 2—3 раза за миллион лет поле меняет местами магнитные полюсы. На это указывает «вмороженное» в осадочные и вулканические породы магнитное поле отдалённых эпох.

Меркурий

Чем больше масса планеты и чем меньше при этом её радиус, тем более сильное гравитационное поле она создаёт в пространстве вокруг себя и тем больше ускорение

свободного падения на её поверхности, поскольку $g = \frac{GM}{R^2}$. Обладая достаточно сильным гравитационным полем, планета может удерживать вокруг себя атмосферу.

Наличие атмосферы и её плотность определяется ещё одним фактором — расстоянием планеты от Солнца и соответственно температурой на её поверхности. При очень высоких температурах скорости движения и кинетические энергии молекул газов в атмосфере достигают таких значений, при которых они могут преодолеть силы гравитационного притяжения к планете и покинуть её атмосферу.

По изложенным выше причинам предполагалось, что Меркурий, близкий к Солнцу и имеющий небольшую массу, не имеет атмосферы. Тем не менее атмосфера, хоть и очень разреженная, была обнаружена на планете американской автоматической межпланетной станцией (АМС) «Маринер-10», которая в марте 1974 г. прошла всего в 705 км от его поверхности.

Результаты проведённых «Маринером» исследований удивили учёных тем, что в атмосфере Меркурия помимо прочих газов был обнаружен гелий. Из-за очень высоких температур (порядка 420—450 °С) весь гелий должен был бы улечься из атмосферы планеты в космическое пространство в течение примерно 200 дней. Вероятно, Меркурий постоянно получает гелий, который поставляет ему солнечный ветер — поток из электронов, протонов и ядер гелия, истекающий из солнечной короны.

Исследования, проведённые «Маринером-10» в 1974—1975 гг., показали, что Меркурий имеет очень слабое (в 100 раз слабее земного) магнитное поле.

Меркурий является одной из наиболее плотных планет Солнечной системы. Это обусловлено двумя факторами: образованием Меркурия из ближайшей к Солнцу части протопланетного диска, содержащей больше тяжёлых элементов, чем окраинные его части, и наличием очень плотного (9,8 г/см³) ядра, содержащего 80% массы планеты.

Внутреннее строение Меркурия показано на рисунке 172. Он состоит из внешнего жидкого и внутреннего твёрдого ядра. Магнитное поле Меркурия создаётся электропроводящими конвективными потоками в жидком ядре.

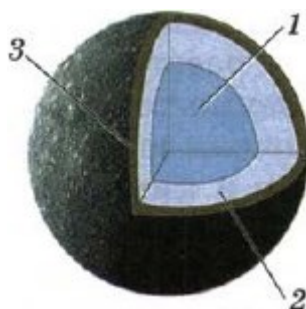


Рис 172. Внутреннее строение Меркурия

Над ядром Меркурия лежит силикатная оболочка — мантия толщиной 600 км. Третьей оболочкой твёрдого Меркурия является его кора, толщина которой 100—300 км.

Венера

Существование атмосферы у Венеры было обнаружено в 1761г. М.В.Ломоносовым при наблюдении в зрительную трубу прохождения её по диску Солнца. В дальнейшем выяснилось, что поверхность Венеры скрывают чрезвычайно густые облака серной кислоты, хорошо отражающие свет. Это не даёт возможности наблюдать поверхность планеты в видимом диапазоне. Поэтому изучение поверхности Венеры стало возможным только после возникновения и развития в 30-х гг. XX в. радиолокационных наблюдений (радиоволны свободно проходят сквозь венерианскую атмосферу).

Первым исследовательским аппаратом, направленным землянами к другой планете, стала советская автоматическая станция «Венера-1», стартовавшая 12 февраля 1961 г.

Дальнейшие исследования Венеры с использованием советских АМС «Венера» и американских «Вояджер» и «Пионер» показали, что давление на Венере достигает 93 атм, а температура — 500 °С. Такие высокие значения температуры и давления обусловлены в атмосфере Венеры парниковым эффектом, способствующим аккумуляции тепла в нижних слоях атмосферы. Было выяснено также, что на высоте 50—70 км от поверхности, где располагаются плотные облака, дуют ураганные ветры. Таким образом, Венера — это планета ядовитых облаков, бурь и адской жары.

Согласно одной из гипотез о строении Венеры, эта планета состоит из коры, мантии и расплавленного железного ядра, масса которого составляет около четверти всей массы планеты (рис. 173).

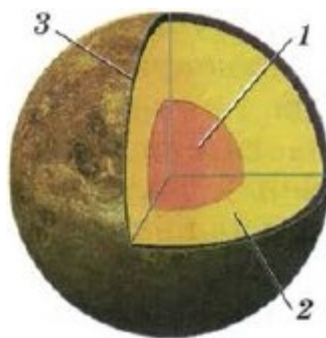


Рис. 173. Внутреннее строение Венеры: 1 — ядро; 2 — мантия; 3 — кора

Собственное магнитное поле Венеры почти полностью отсутствует. Видимо, это связано с очень медленным её вращением. Магнитное поле возникает благодаря тому, что межпланетное магнитное поле возбуждает в ионосфере Венеры электрические токи, порождающие локальные магнитные поля. Влияние на эти поля солнечного ветра усложняет картину. Поэтому у Венеры нет магнитных полюсов в традиционном их понимании.

Марс

Фототелевизионные изображения марсианской поверхности, переданные на Землю в 1976 г. с американских орбитально-посадочных станций «Викинг-1» и «Викинг-2», показали, что поверхность Марса покрыта красноватым песком. Такой оттенок придает песку оксид железа. Проведённые этими же станциями исследования марсианского грунта на предмет обнаружения в нём следов живых микроорганизмов дали отрицательный результат.

Атмосфера Марса по плотности не превышает 1% земной, давление у поверхности в 160 раз меньше земного. В отличие от Земли, масса марсианской атмосферы сильно изменяется в течение года в связи с таянием и намерзанием полярных шапок, состоящих в основном из углекислого льда (рис. 174), и простирается в пределах от 110 до 130 км над поверхностью планеты.



Рис. 174. Полярная шапка на Марсе

Климат на Марсе значительно холоднее и суше земного.

Днём в области экватора температура может составлять от -10 до -30 °С, ночью опускается ниже -100 °С. Резкие перепады температуры на Марсе (обусловленные, в частности, сильной разреженностью атмосферы) являются причиной частого возникновения на нём пылевых бурь.

Из-за низкого атмосферного давления вода не может существовать в жидком состоянии на поверхности Марса. Аппарат «Феникс» в июле 2008 г. обнаружил на Марсе воду в состоянии льда.

Марсианский год состоит из 668,6 марсианских солнечных суток (называемых сдлами). Наклон оси обеспечивает смену времён года. При этом вытянутость орбиты приводит к большим различиям их продолжительности. Так, северная весна и лето приходятся на участок орбиты Марса, удалённый от Солнца. Поэтому на Марсе северное лето долгое и прохладное, а южное — короткое и жаркое.

Магнитное поле Марса очень слабо и неустойчиво. В различных точках планеты его индукция может отличаться от 1,5 до 2 раз. Магнитные полюсы не совпадают с географическими. Это говорит о том, что железное ядро Марса находится в сравнительной неподвижности по отношению к его коре.

Юпитер

Юпитер — крупнейшая планета Солнечной системы и среди газовых гигантов. Масса Юпитера превышает массу всех других планет, вместе взятых. Он находится в 5 раз дальше от Солнца, чем Земля. Один оборот вокруг Солнца Юпитер совершает за 12 лет.

Планета не имеет твёрдой поверхности. Поэтому, говоря о её размерах, указывают радиус верхней границы облаков, где давление порядка 10 кПа. Средняя плотность Юпитера

очень мала ($1,33 \text{ г/см}^3$). Он почти целиком состоит из водорода и гелия: по объёму соответственно 89 и 10% . И только 1% составляют более тяжёлые элементы.

Протяжённость водородно-гелиевой атмосферы Юпитера превышает 1000 км. Она создаёт такое большое давление, что молекулярный водород и гелий под ней превращаются в жидкость. Оранжевый цвет атмосфере придают соединения фосфора или серы.

Из-за непрозрачности атмосферы Юпитера невозможно увидеть её нижние слои. В юпитерианской атмосфере образуются вихри (циклоны и антициклоны), штормы и грозы. Вихри проявляют себя в виде крупных красных, белых и коричневых пятен. Так называемое Большое Красное Пятно — крупнейший известный вихрь в Солнечной системе является антициклоном (рис. 175). В пределах этого вихря могло бы разместиться несколько планет размером с Землю. Он существует уже около 300 лет.



Рис. 175. Пояса зоны и Большое Красное Пятно Юпитера

Поскольку Юпитер является газовой планетой, его вращение отличается от вращения твёрдого тела. Экваториальная область планеты вращается быстрее приполярных. Ось вращения планеты почти перпендикулярна плоскости орбиты и эклиптики. Поэтому на Юпитере нет смены времён года.

Видимая поверхность Юпитера — это верхние плотные аммиачные облака. Глядя с Земли на Юпитер, мы видим верхушки облаков в виде вытянутых вдоль экватора полос. На рисунке 175 показано, что эти полосы образуют системы тёмных поясов и светлых зон, расположенных симметрично к северу и югу от экватора. Пояса и зоны — это области нисходящих и восходящих потоков в атмосфере планеты.

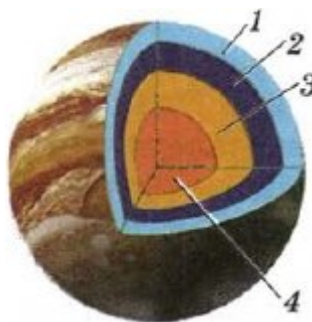


Рис. 176. Внутреннее строение Юпитера: 1 — газообразный водород; 2 — жидкий водород; 3 — металлический водород; 4 — твёрдое ядро

Предполагаемое строение Юпитера показано на рисунке 176. На глубине 10 000 км давление достигает 300 ГПа, температура — 11 000 °С, и водород переходит в вырожденное, или металлическое, состояние (при котором электроны оторваны от протонов), т. е. становится подобным жидкому металлу. Толщина этого слоя около 42 000 км. Внутри него плавает небольшое железосиликатное твёрдое ядро радиусом 4000 км с температурой, близкой 30 000 °С, и массой, в 13 раз превышающей массу земного шара.

Слой металлического водорода способен проводить электрический ток и, по всей видимости, является источником существования обширного магнитного поля планеты.

Юпитер обладает самым протяжённым магнитным полем и самой мощной и активной магнитосферой из всех планет Солнечной системы. В магнитосфере происходит ускорение частиц. Проникновение частиц из магнитосферы в атмосферу Юпитера создаёт там полярные сияния, зарегистрированные космическими аппаратами (рис. 177).

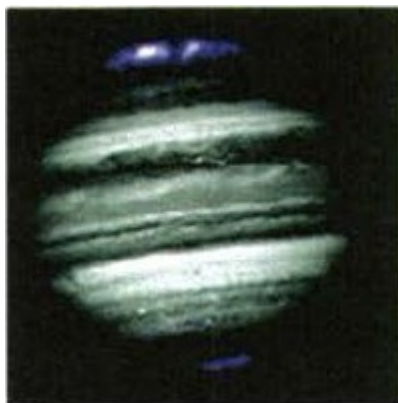


Рис. 177. Северные и южные полярные сияния на Юпитере

Сатурн

Сатурн можно увидеть невооружённым глазом с Земли. Его кольцо — самое мощное, светлое и красивое по сравнению с кольцами трёх остальных планет-гигантов — состоит из двух колец, разделённых чётко видимым зазором.

В период с 1979 по 1981 г. с помощью американских космических аппаратов «Пионер-11», «Вояджер-1» и «Вояджер-2» было обнаружено магнитное поле Сатурна. Были также получены снимки структуры колец и определён их состав. Оказалось, что кольца состоят главным образом из частичек льда, «горных пород» и пыли.

Сатурн состоит в основном из водорода с примесями гелия и следами воды, метана, аммиака и «горных пород». На рисунке 178 показано строение Сатурна.

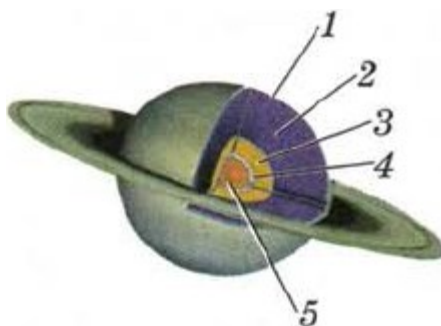


Рис. 178. Строение Сатурна: 1 — газовая атмосфера; 2 — жидкий водород; 3 — металлический водород; 4 — вода, метан, аммиак; 5 — ядро из кремния и металлов

Сатурн — единственная планета Солнечной системы, средняя плотность которой меньше плотности воды. Сутки на планете делятся 10 ч 34 мин 13 с. Один оборот вокруг Солнца Сатурн совершает за 29,46 земных лет, в его году 10 759 сатурнианских суток.

Плоскость экватора Сатурна (с которой совпадает плоскость обращения его колец) наклонена к плоскости его орбиты на $26,73^\circ$, поэтому на нём, как и на Земле, происходит смена времён года. Но каждое из четырёх времён года на Сатурне длится не менее 7 лет.

Уран

В 1986 г. космический аппарат «Вояджер-2» пересёк орбиту Урана и прошёл в 81 500 км от поверхности планеты (рис. 179). Это единственное в истории космонавтики посещение окрестностей Урана. Аппарат изучил уникальные погодные условия, обусловленные тем, что ось вращения Урана расположена почти в плоскости его орбиты, открыл 10 новых спутников и два кольца и провёл ряд других исследований.

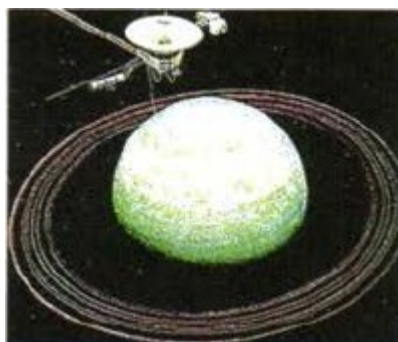


Рис. 179. «Вояджер-2» — аппарат, исследовавший Уран с близкого расстояния

Период вращения планеты вокруг своей оси составляет 17 земных часов и 34 земных минуты, однако из-за сильных ветров, дующих в верхнем слое атмосферы и достигающих скорости 240 м/с, некоторые части атмосферы совершают оборот вокруг планеты за 14 часов. Двигаясь по орбите со средней скоростью, равной 6,81 км/с, Уран делает оборот вокруг Солнца за 84 земных года.

Уран является единственной планетой Солнечной системы, которая вращается «лёжа на боку», поскольку ось его вращения располагается почти в плоскости орбиты. Поэтому

процессы смены дня и ночи на нём существенно отличаются от тех же процессов, происходящих на многих других планетах. За урановый год каждый полюс планеты половину года (42 земных) находится в темноте, а другую половину — под светом Солнца.

Хотя Уран и не имеет твёрдой поверхности в привычном понимании этого слова, наиболее удалённую часть газообразной оболочки принято называть его атмосферой. Это самая холодная планетарная атмосфера Солнечной системы с минимальной температурой $-224\text{ }^{\circ}\text{C}$. Полагают, что Уран имеет сложную слоистую структуру облаков, где вода составляет нижний слой, а метан — верхний.

В недрах Урана (и схожего с ним Нептуна) отсутствует металлический водород, но зато есть разные льды: водный, метановый, аммиачный. Поэтому их называют «ледяными гигантами», в отличие от газовых гигантов — Сатурна и Юпитера, состоящих в основном из водорода и гелия.

В центре Урана (рис. 180) находится небольшое (около 20% от радиуса планеты) каменное ядро, в середине — оболочка из льда (около 60% от радиуса Урана), а вокруг водородно-гелиевая атмосфера (20% радиуса планеты).

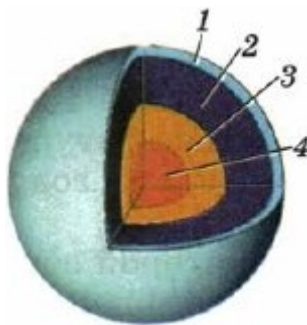


Рис. 180. Строение Урана: 1 - газовая атмосфера; 2 - жидкий водород; 3 - льды из воды, метана, аммиака; 4 - ядро

Измерения «Вояджера-2» позволили обнаружить у Урана весьма специфическое магнитное поле, которое направлено не из геометрического центра планеты, а наклонено на 59° относительно оси вращения. Из-за асимметричности магнитного поля значения магнитной индукции на поверхности в южном и северном полушариях различны. Магнитное поле превосходит земное в 50 раз. Кроме Урана, аналогичное смещённое магнитное поле наблюдается у Нептуна. Возможно, такая конфигурация поля характерна для «ледяных гигантов» и обусловлена тем, что поле у них формируется на довольно малых глубинах.

Нептун

«Вояджер-2» был первым космическим кораблём, который в 1989 г. достиг Нептуна. Он сфотографировал планету, и благодаря этим изображениям было обнаружено, что у планеты есть пять колец (рис. 181).



Рис. 181. Кольца Нептуна

Видимая поверхность Нептуна представляет собой плотный облачный слой синего цвета с полосами и белыми и тёмными пятнами. Большое Тёмное Пятно (рис. 182) является самым крупным из наблюдавшихся до сих пор ураганов-антициклонов.

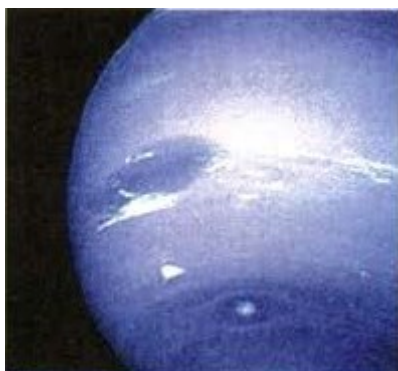


Рис. 182. Большое Тёмное пятно Нептуна

Температура Нептуна в верхних слоях атмосферы близка к -220°C . В центре Нептуна температура составляет, по различным оценкам, от 6000 до 7000°C , что сопоставимо с температурой на поверхности Солнца. Внутреннее строение Нептуна показано на рисунке 183.

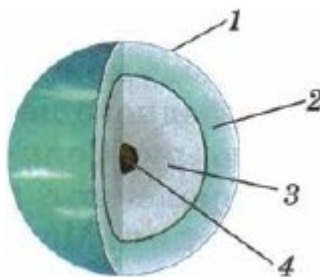


Рис. 183. Строение Нептуна: 1 - верхняя атмосфера, верхние облака; 2 - атмосфера; 3 - мантия; 4 - ядро

Из-за огромного давления (в несколько миллионов раз превышающего атмосферное давление на Земле) находящийся в мантии лёд не испаряется, несмотря на высокую температуру — от 2500 до 5500 °C.

Своим синим с зеленоватым оттенком цветом Нептун обязан присутствующему в верхних слоях атмосферы метану, который поглощает из солнечного света красные лучи и отражает синие.

В глубоких частях атмосферы под действием большого давления газы преобразуются в кристаллы, которые на ещё больших глубинах превращаются в лёд.

Смена времён года на Нептуне, как и на Земле, происходит по мере движения планеты вдоль орбиты. Но год на Нептуне равен 164 земным годам. Соответственно продолжительность каждого из четырёх его сезонов — 41 год — гораздо длиннее земных. Очередное лето, начавшееся в южном полушарии в 2005 г., продлится до 2046 г. В этот период вокруг северного полюса Нептуна будет царить зимняя полярная ночь.

Магнитное поле у Нептуна впервые было обнаружено в 1989 г. во время пролёта близ планеты «Вояджера-2». Исследования показали, что магнитная ось планеты отклонена на 47° от оси вращения планеты. Из-за сильного наклона магнитной оси сияния на Нептуне располагаются вовсе не над его полюсами, а на удалении от них на 40—50°, поэтому их уже нельзя назвать полярными.