

## Формирование и эволюция Солнечной системы

Ни одна из большого числа различных моделей происхождения и развития Солнечной системы не удостоилась перевода в ранг общепризнанной теории.

Согласно *гипотезе Канта – Лапласа* система планет вокруг Солнца образовалась в результате действия сил притяжения и отталкивания между частицами рассеянной материи, находящейся во вращательном движении вокруг Солнца.

Впервые английский физик и астрофизик *Дж. Х. Джинс* (1877 - 1946) предположил, что когда-то Солнце столкнулось с другой звездой, в результате чего из него была вырвана струя газа, которая, сгущаясь, превратилась в планеты. Учитывая огромное расстояние между звездами, такое столкновение кажется невероятным.

Из современных гипотез происхождения Солнечной системы наиболее известна электромагнитная гипотеза шведского астрофизика *Х. Альфвена* (1908 - 1995) и английского *Ф. Хойла* (1915 - 2001). Согласно этой теории первоначальное газовое облако, из которого образовались и Солнце и планеты, состояло из ионизированного газа, подверженного влиянию электромагнитных сил. После того, как из огромного газового облака посредством концентрации образовалось Солнце, на очень большом расстоянии от него остались небольшие части этого облака. Гравитационная сила стала притягивать остатки газа к образовавшейся звезде – Солнцу, но его магнитное поле остановило движущийся газ на различных расстояниях – как раз там, где находятся планеты. Гравитационные и магнитные силы повлияли на концентрацию и сгущение этого газа. В результате образовались планеты. Когда возникли самые крупные планеты, тот же процесс повторился в меньших масштабах, создав, таким образом, системы спутников.

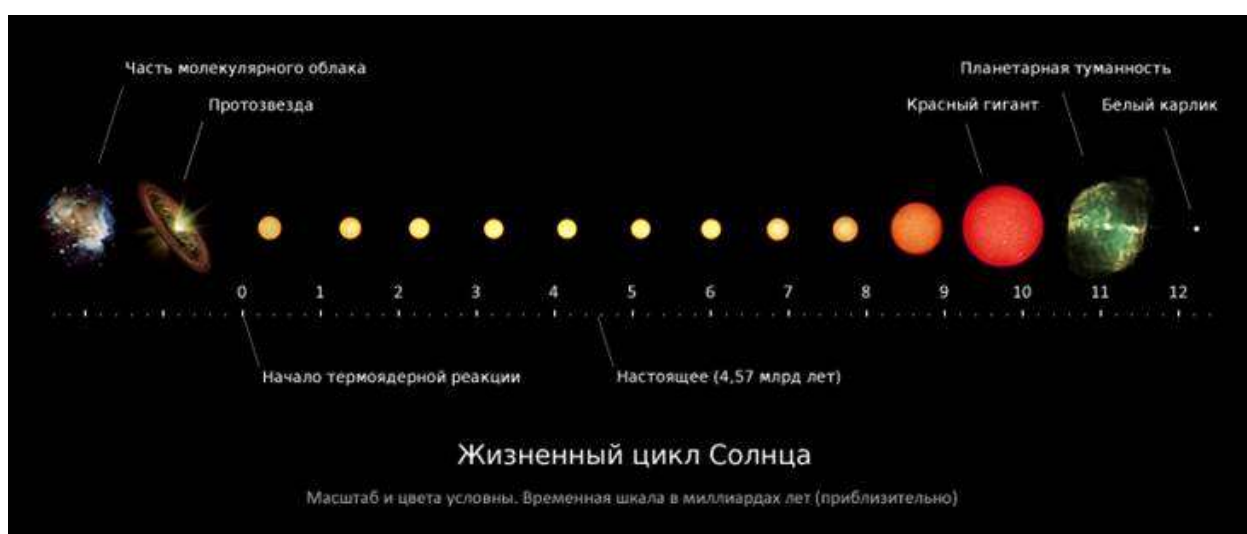
Ни одна из большого числа различных моделей происхождения и развития Солнечной системы не удостоилась перевода в ранг общепризнанной теории.

Согласно *гипотезе Канта – Лапласа* система планет вокруг Солнца образовалась в результате действия сил притяжения и отталкивания между частицами рассеянной материи, находящейся во вращательном движении вокруг Солнца.

Впервые английский физик и астрофизик *Дж. Х. Джинс* (1877 - 1946) предположил, что когда-то Солнце столкнулось с другой звездой, в результате чего из него была вырвана струя газа, которая, сгущаясь, превратилась в планеты. Учитывая огромное расстояние между звездами, такое столкновение кажется невероятным.

Из современных гипотез происхождения Солнечной системы наиболее известна электромагнитная гипотеза шведского астрофизика *Х. Альфвена* (1908 - 1995) и английского *Ф. Хойла* (1915 - 2001). Согласно этой теории первоначальное газовое облако, из которого образовались и Солнце и планеты, состояло из ионизированного газа, подверженного влиянию электромагнитных сил. После того, как из огромного газового облака посредством концентрации образовалось Солнце, на очень большом расстоянии от него остались небольшие части этого облака. Гравитационная сила стала притягивать остатки газа к образовавшейся звезде – Солнцу, но его магнитное поле остановило движущийся газ на различных расстояниях – как раз там, где находятся планеты. Гравитационные и магнитные силы повлияли на концентрацию и сгущение этого газа. В результате образовались планеты. Когда возникли самые крупные планеты, тот же процесс повторился в меньших масштабах, создав, таким образом, системы спутников.

В течение 50 млн лет давление и плотность водорода в центре протозвезды стали достаточно большими для начала термоядерных реакций. Температура, скорость реакции, давление и плотность увеличились, пока не было достигнуто гидростатическое равновесие, с тепловой энергией, противостоящей силе гравитационного сжатия. На этом этапе Солнце стало полноценной звездой главной последовательности.



*Рис.27 Эволюция Солнца*

Солнечная система просуществует, пока Солнце не начнет развиваться вне главной последовательности диаграммы Герцшпрунга – Рассела, которая показывает зависимость между яркостью звезд и температурой их поверхности. Более горячие звезды являются более яркими.

Солнце сжигает запасы водородного топлива, при этом выделяющаяся энергия, имеет тенденцию к исчерпанию, заставляя Солнце сжиматься. Это увеличивает давление в его недрах и нагревает ядро, таким образом ускоряя

сжигание топлива. В результате Солнце становится ярче на примерно десять процентов каждые 1,1 млрд лет.

Через приблизительно 5 - 6 млрд. лет, водород в ядре Солнца будет полностью преобразован в гелий, что завершит фазу главной последовательности. В это время внешние слои Солнца расширятся примерно в 260 раз – Солнце станет красным гигантом. Из-за чрезвычайно увеличивающейся площади поверхности, она будет гораздо более прохладной, чем при нахождении на главной последовательности (2600 K).

В конечном счете, внешние слои Солнца будут выброшены мощным взрывом в окружающее пространство, образовав планетарную туманность, в центре которой останется лишь небольшое звездное ядро – белый карлик, необычно плотный объект в половину первоначальной массы Солнца, но размером с Землю. Эта туманность возвратит часть материала, который сформировал Солнце, в межзвездную среду.

Теории происхождения Солнечной системы носят гипотетический характер, и однозначно решить вопрос об их достоверности на современном этапе развития науки невозможно. Во всех существующих теориях имеются противоречия и неясные места.

Отсутствие общепризнанной версии происхождения планетной системы имеет свое объяснение. Прежде всего, единственность объекта наблюдения исключает применение сравнительного анализа и заставляет решать нелегкую задачу восстановления истории на основании одних только знаний о сегодняшнем состоянии Солнечной системы. Например, представления об эволюции звезд от их рождения до гибели получены благодаря накоплению и статистической обработке наблюдаемых данных о современном состоянии множества звезд разных классов, находящихся на разных стадиях развития. Неудивительно, что о развитии далеких от нас звезд астрономия знает существенно больше, чем о происхождении и развитии места нашего обитания – Солнечной системы.

Таким образом, солнечная система – очень сложное природное образование, сочетающее разнообразие составляющих ее элементов с высочайшей устойчивостью системы как целого. При огромном числе и разнообразии составляющих систему элементов, при тех сложных взаимоотношениях, которые устанавливаются между ними, задача определения механизма ее образования, оказывается очень непростой.

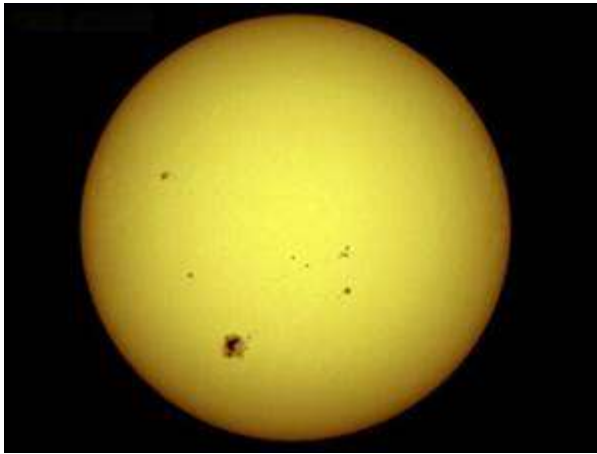
В Солнечную систему входят:

- Солнце;

- 4 планеты земной группы: Меркурий, Венера, Земля, Марс и их спутники;
- пояс малых планет – астероидов, куда входит планета – карлик Церера;
- бесчисленное число метеоритных тел, движущихся как роями, так и одиночно.
- 4 планеты – гиганты: Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун и их спутники;
- сотни комет;
- кентавры;
- транснептуновые объекты: пояс Койпера, куда входят 4 планеты – карлика: Плутон, Хаумеа, Макемаке, Эрида и рассеянный диск;
- Отдаленные области, куда входит облако Оорта и Седна;
- Пограничные области.

## **Солнце**

Солнце относится к рядовым звездам нашей Галактики и представляет собой раскаленный газовый (плазменный) шар преимущественно гелиево-водородного состава, который разбавлен примесью (около 1%) остальных химических элементов, соотношение которых изменяется от поверхности к ядру. В верхних слоях Солнца водорода содержится около 90 %, а гелия – 10 %. В ядре содержится лишь 37 % водорода. Соотношение между водородом и гелием с течением времени изменяется в пользу гелия, поскольку уже в течение 4,5 млрд. лет на Солнце протекают термоядерные реакции, превращающие ядра водорода в ядра гелия. Ежесекундно около 600 млн. т водорода превращаются в гелий при температуре около 15 млн. °С. При этом 4,3 млн. т переходит в лучистую энергию (рис.28).



*Рис.28 Солнце*

Энергия солнечного излучения – определяющий фактор многих геохимических процессов. Температура излучения разных частей поверхности Солнца и другие параметры таковы:

- среднее расстояние от Земли составляет 140 504 тыс. км;
- радиус Солнца равен  $6,96 \cdot 10^{11}$  см;
- масса Солнца составляет  $1,99 \cdot 10^{33}$  г (в 333 тыс. раз больше Земли);
- средняя плотность вещества в Солнце равна  $1,41$  г/см<sup>3</sup>;
- ускорение свободного падения на уровне видимой поверхности Солнца –  $2,74 \cdot 10^4$  см/с<sup>2</sup> (в 27,9 раза больше земного);°
- в Солнце сосредоточено 99,866% всей массы Солнечной системы;
- критическая скорость освобождения тел на поверхности Солнца равна 619,4 км/с;
- вращение Солнца имеет дифференцированный характер. Экваториальная зона вращается быстрее (14,4° за сутки), чем высокоширотные зоны (около 10° за сутки у полюсов);
- период обращения Солнца в Млечном пути – 225 миллионов км;
- средний период вращения 25,38 суток, а скорость вращения точки на экваторе – 2 км/с;
- эффективная температура поверхности Солнца равна 5780°К;

- в центре Солнца вероятная температура достигает  $1,6 \cdot 10^6$  К, а плотность достигает  $160 \text{ г/см}^2$ .

Наряду со светом, Солнце излучает непрерывный поток заряженных частиц (плазмы), известный как солнечный ветер. Этот поток частиц распространяется со скоростью примерно 1,5 млн. км в час, наполняя околосолнечную область и создавая у Солнца некий аналог планетарной атмосферы (гелиосферу). Магнитное поле Земли мешает солнечному ветру сорвать атмосферу Земли. Венера и Марс не имеют магнитного поля и в результате, солнечный ветер постепенно сдувает их атмосферы в космос. Корональные выбросы массы и подобные явления изменяют магнитное поле и выносят огромное количество вещества с поверхности Солнца – порядка  $10^9 - 10^{10}$  тонн в час. Взаимодействуя с магнитным полем Земли это вещество попадает преимущественно в верхние приполярные слои атмосферы Земли, где от такого взаимодействия возникают полярные сияния, наиболее часто наблюдаемые около магнитных полюсов.

### *Структура Солнца*

Верхний слой Солнца – *корона*. Самый разряженный слой простирается на миллионы километров. Потоки плазмы солнечной короны, называемые солнечным ветром, заполняют Солнечную систему на расстояние 100 астрономических единиц. Плотность частиц солнечного ветра около Земли достигает 6 млн. в  $1 \text{ м}^3$ , а скорость – 300 км/с.

Под короной находится цветной слой – *хромосфера*. Простирается до 10 – 14 тыс. км. Во время солнечной активности, которая проявляет себя каждые 11 лет, с поверхности Солнца поднимаются потоки газа – *протуберанцы*. Они выбрасываются на высоту до миллиона километров. И существуют от нескольких недель до нескольких месяцев. В некоторых случаях они возвращаются к поверхности Солнца, в других – рассеиваются в космическом пространстве.

Еще ниже находится ослепительно яркий, непрозрачный слой – *фотосфера*. Она простирается на расстояние 300 – 400 км. Она излучает всю солнечную энергию. Ее яркость больше яркости хромосферы во много раз. Движение слоев Солнца относительно друг друга и движение потоков электронов создают сильнейшее магнитное поле, которое удерживает солнечное вещество в пределах звезды. В местах выхода магнитного поля на поверхность Солнца появляются темные пятна. Солнечное пятно – это холодная темная зона, температура темных пятен примерно на 1500 градусов холоднее окружающих участков фотосферы, а их диаметр может достигать от 1500 до десятков тысяч километров. Оно может существовать от одних суток до нескольких месяцев. Когда внутри Солнечного пятна взрывается огромная масса газа, происходит солнечная вспышка. Вместе с протуберанцами,

факелами и вспышками темные пятна свидетельствуют о суммарной солнечной активности, изменение которой оказывает сильное воздействие на физико – химические и биологические процессы на Земле.

Далее идет зона *конвекции*. В этой зоне энергия переносится от слоя к слою самим веществом в результате перемешивания.

Ниже находится *лучистая зона* – энергия передается наружу от слоя к слою в результате поглощения и излучения квантов.

*Ядро* Солнца. Внутри ядра Солнца происходят мощные термоядерные реакции с выделением огромного количества энергии. Земля получает от Солнца лишь 1/2000000 миллиардную долю солнечного излучения.

### **Планеты Солнечной системы**

Планета – любое тело на орбите вокруг Солнца, оказавшееся достаточно массивным, чтобы приобрести сферическую форму, но недостаточно массивным для начала термоядерного синтеза, и сумевшее очистить окрестности своей орбиты от планетоземалей.

Солнечная система состоит из 8 крупных планет и 3 планет – карликов. Планеты земной группы: Меркурий, Венера, Земля, Марс. Планеты – гиганты: Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун. Планеты – карлики: Плутон, Церера, Эрида.

*Основные атрибуты планеты следующие:*

- не звезда;
- обращается вокруг звезды (например, Солнца);
- достаточно массивно, чтобы под действием собственного тяготения стать шарообразным;
- достаточно массивно, чтобы своим тяготением расчистить пространство вблизи своей орбиты от других небесных тел.

Основные параметры планеты это:

- расстояние от Солнца;
- период обращения вокруг Солнца;
- период обращения вокруг своей оси;
- средняя плотность (г/см<sup>3</sup>);

- диаметр экватора в км;
- относительная масса;
- температура поверхности;
- число спутников;
- преобладание газа в атмосфере.

### **Планеты земной группы**

Эти планеты имеют малые размеры, высокую плотность, твердую поверхность, медленно вращаются вокруг своей оси, имеют малое количество спутников (3), малые по размерам атмосферы (на Меркурии атмосферы практически нет), у них отсутствуют кольца. Четыре внутренние планеты состоят из тяжелых элементов, в значительной степени из тугоплавких минералов, которые формируют у них мантию и кору; и металлов, таких как железо и никель, которые формируют у них ядро. У всех имеются ударные кратеры и тектонические черты поверхности, такие как рифтовые впадины и вулканы.

#### *Меркурий*

Ближайшая к Солнцу планета. Среднее расстояние от Меркурия до Солнца меньше 58 млн.км. Это самая маленькая из планет земной группы, ее радиус составляет всего 2439,7 км (рис.29). Она быстрее остальных движется по самой близкой к Солнцу сильно вытянутой эллиптической орбите. Полный оборот она совершает за 88 суток. Меркурий очень медленно вращается вокруг своей оси, средняя скорость движения планеты по орбите 48 км/с. В 1965 г. благодаря применению радиолокации был измерен период вращения Меркурия вокруг оси, оказавшийся равным 58 сут.16 час. Отражательная способность поверхности планеты очень мала и составляет 0,07. Температура освещенной Солнцем стороны равна + 400°С, а ночного полушария – 170°С. Причина низкого альбедо поверхности связана с наличием пород типа лунного реголита.

Поверхность планеты сильно изрезана метеоритными кратерами разных размеров в поперечнике и очень похожи на лунные. Имеются овальные равнины, получившие название бассейнов. Наибольший из них – Калорис имеет диаметр 1300 км. Наличие темного вещества в бассейнах и заполненных лавой кратерах свидетельствует о том, что в начальный период своей истории планета испытывала внутренний разогрев, за которым последовали несколько эпох развития интенсивного вулканизма.





*Рис.29 Меркурий*

Верхними слоями Меркурия является кора и мантия, относительно тонкие, состоящие из силикатов. Средняя плотность планеты очень высока и составляет  $5,43 \text{ г/см}^3$ , т. е почти равна средней плотности Земли.

Обнаружено слабое магнитное поле, напряженность которого в 100 раз меньше, чем у Земли, но больше чем у Марса. Астрономы считают, что около 70% массы Меркурия приходится на огромное железистое ядро, диаметр которого равен почти трем четвертям диаметра планеты. Это могло бы объяснить наличие магнитного поля, хотя еще недостаточно ясен настоящий механизм его образования.

Атмосфера практически отсутствует и очень разрежена. По данным американской станции «Маринер-10», ее плотность не превосходит плотности земной атмосферы на высоте 620 км. В составе атмосферы обнаруживаются следы натрия, гелия и кислорода и других элементов.

У Меркурия нет спутников, не существует времен года. Предположительно это происходит из-за того, что ось вращения планеты находится под прямым углом по отношению к плоскости орбиты.

### *Венера*

Это вторая от Солнца и ближайшая к Земле планета, и самое яркое светило на небосводе после Солнца и Луны, с периодом обращения в 224,7 земных суток (рис.30). Среднее расстояние Венеры от Солнца 108 млн.км. Период вращения Венеры долго не удавалось определить из-за плотной и непрозрачной атмосферы. Только с помощью радиолокации было установлено, что он равен 243,02 суток, причем Венера вращается в обратную сторону по сравнению с Землей и другими планетами.



По размерам Венера довольно близка к Земле. Радиус планеты равен 6051,8 км (95 % земного), масса  $4,87 \cdot 10^{24}$  кг (81,5 % земной), средняя плотность –  $5,24 \text{ г/см}^3$ .

*Рис.30 Венера*

Существование атмосферы на Венеры было обнаружено в 1761г. М.В. Ломоносовым при наблюдении прохождения ее по диску Солнца. В XX в. установлено, что атмосфера Венеры самая плотная среди прочих землеподобных планет, состоит в основном из углекислого газа (97%), 3,5 % азота, 0,015 % диоксида серы, 0,007% аргона, 0,002 % водяного пара, 0,0017 % угарного газа, 0,0012 % гелия, 0,0007 % неона, незначительного количества кислорода, окиси углерода, хлороводорода, фтороводорода. Углекислый газ и пары воды создают в атмосфере Венеры парниковый эффект, приводящий к сильному разогреву поверхности планеты – до температуры почти  $470^{\circ}\text{C}$ .

Облачный покров Венеры расположен на высотах 30-60 км. По плотности напоминает легкий туман. Облака состоят из капелек водного раствора серной кислоты.

Практически вся атмосфера Венеры вовлечена в один гигантский ураган: она вращается вокруг планеты со скоростью, достигающей 120 – 140 метров в секунду у верхней границы облаков. Пока не понятно, как это происходит, и что поддерживает это мощнейшее движение. В атмосфере Венеры молнии бьют в два раза чаще, чем в земной. Это явление получило название «электрический дракон Венеры». Природа такой электрической активности пока неизвестна.

Освещенность поверхности Венеры подобна земной в пасмурный день. Давление атмосферы на поверхности планеты 60-95 земных атмосфер, или 9,5 Мпа. Плотность газа в 70 раз больше плотности в земной атмосфере.

Поверхность Венеры преимущественно равнинная. Перепад высот 1-2 км. 8% территории – горные страны. Наиболее крупная – Земля Иштар с горой Максвелл (высотой до 12 км) в северном полушарии и Земля Афродиты вблизи экватора. Детальное картографирование поверхности Венеры проводилось в

течение последних 22 лет. Поверхность Венеры носит на себе яркие черты вулканической деятельности, а атмосфера содержит большое количество серы. Некоторые эксперты полагают, что вулканическая деятельность на Венере продолжается и сейчас. 90% планеты покрыто застывшей базальтовой лавой. Удивительно низкое число ударных кратеров говорит в пользу того, что поверхность Венеры относительно молода, и ей приблизительно 500 миллионов лет. Никаких следов тектонического движения плит на Венере не обнаружено, возможно, потому что кора планеты без воды, придающей ей большей вязкости, не обладает должной подвижностью.

На Венере имеются три оболочки. Первая – кора – толщина примерно 16 км. Далее – мантия, силикатная оболочка, простирающаяся на глубину порядка 3300 км до границы с железным ядром, масса которого составляет около четверти всей массы планеты.

Поскольку собственное магнитное поле планеты отсутствует, то следует считать, что в железном ядре нет перемещения заряженных частиц – электрического тока, вызывающего магнитное поле, следовательно, движения вещества в ядре не происходит, то есть оно находится в твердом состоянии. Плотность в центре планеты достигает  $14 \text{ г/см}^3$ .

Венера наряду с Меркурием считается планетой, не имеющей естественных спутников.

Венера – кандидат на терраформирование. По одному из планов предполагалось распылить в атмосфере Венеры генетически модифицированные сине-зеленые водоросли, которые, перерабатывая углекислый газ в кислород, значительно уменьшили бы парниковый эффект и понизили бы температуру на планете.

Однако для фотосинтеза необходимо наличие воды, которой на Венере нет (даже в виде паров в атмосфере). Поэтому для реализации такого проекта необходимо в первую очередь доставить на Венеру воду – например, посредством бомбардировки ее водно-аммиачными астероидами или иным путем. Следует отметить, что на высоте 50 – 100 км в атмосфере Венеры существуют условия, при которых могут существовать некоторые земные бактерии.

*Земля*



Земля является наибольшей и самой плотной из внутренних планет (рис.31). У Земли наблюдается тектоника плит. Вопрос о наличии жизни где – либо, кроме Земли, остается открытым. Однако среди планет земной группы Земля является уникальной (прежде всего гидросферой). Атмосфера Земли радикально отличается от атмосфер других планет – она содержит свободный кислород. У Земли есть один естественный спутник – Луна, единственный большой спутник планет земной группы Солнечной системы (подробнее стр.222).

### *Спутник Земли*

#### *Рис.31 Земля*

Луна - ближайшее к Земле небесное тело (рис.32). Обращается на расстоянии около 400 тыс. км. Диаметр Луны всего в 4 раза меньше земного. В этой связи некоторые ученые склонны считать систему Луна-Земля двойной планетной системой.

Средняя плотность Луны равна  $3,34 \text{ г/см}^3$ . Сила тяжести на ней в 6 раз ниже, чем на Земле. Поэтому американским астронавтам пришлось осваивать передвижение по ее поверхности, используя «стиль кенгуру». Луна имеет небольшое ядро из железа и серы, окруженное полурасплавленной астеносферой. Над астеносферой расположена литосфера – твердая каменная оболочка и над ней – кора из минералов, богатых кальцием и алюминием. Время оборота Луны вокруг своей оси строго соответствует обороту Земли, поэтому Луна обращена к Земле всегда одной стороной. На один оборот вокруг Земли Луна затрачивает 27,3 суток. Первая карта обратной стороны Луны была составлена благодаря советской межпланетной автоматической станции «Луна-3». «Зонд-3» в 1965 г. завершил составление карты обратной стороны Луны.



*Рис.32 Луна*

Ее поверхность состоит не только из многочисленных кратеров, но и пониженных участков — лунных морей и океанов, представляющих собой плато излившихся в прошлом (на рубеже 3,5 млрд. лет) базальтов. То есть в те времена Луна представляла собой арену активного вулканизма, который порождался как внутренним разогревом планеты, так и мощнейшими ударами крупных метеоритов. Постоянная бомбардировка поверхности Луны крошечными метеоритами сформировала на несколько метров вглубь особый слой — лунный реголит, представленный спекшимися обломками раздробленного вещества пород, в основном базальтов. Реголит служит прекрасным теплоизоляционным материалом. Температурные колебания на поверхности спутника Земли варьируют от  $+130^{\circ}\text{C}$  на дневной до  $-170^{\circ}\text{C}$  на ночной сторонах. Очень резкие колебания температуры не проникают глубже первых десятков сантиметров за счет теплоизоляционных свойств лунного реголита. Вследствие притока тепла из недр Луны температура в глубь ее тела медленно возрастает. Космические полеты к Луне отечественных автоматических станций и американских космических кораблей стали важнейшим событием в ее изучении. 20 июля 1969 г. на поверхность Луны ступила нога человека. Исследования лунной поверхности позволили установить близость возраста Луны и Земли на уровне 4,6 млрд. лет. На поверхности Луны полностью отсутствуют вода и атмосфера. Однако последними данными установлена возможность наличия льда в глубинных частях кратеров, куда не проникают лучи Солнца.

Во внутреннем строении Луны выделяют различные по свойствам ядро, мантию и кору. В мантии Луны залегают очаги лунотрясений, частота которых регулярно изменяется в зависимости от положения Луны на орбите по отношению к Земле. В отдельных местах лунной поверхности наблюдаются кратковременные истечения вулканических газов. Отражение Луной солнечного света оказывает влияние на все живое на Земле.

## *Марс*

Это четвертая от Солнца планета. Среднее расстояние от Марса до Солнца составляет 228 млн. км, период обращения вокруг Солнца равен 687 земным суткам (рис.33). На звездном небе выглядит красноватой точкой. Периодически подходит к Земле на расстояние 57 млн. км, значительно ближе, чем любая из больших, планет кроме Венеры. По диаметру он почти вдвое меньше Земли, его экваториальный радиус равен 3396,9 км (53,2 % земного). Площадь поверхности Марса примерно равна площади суши на Земле. Достаточно быстрое вращение планеты приводит к заметному полярному сжатию – полярный радиус Марса примерно на 21 км меньше экваториального. Масса планеты –  $6,418 \cdot 10^{23}$  кг (11 % массы Земли).



*Рис.33 Марс*

Особенностями поверхностного рельефа Марса можно считать ударные кратеры наподобие лунных и вулканы, долины, пустыни и полярные ледниковые шапки наподобие земных. Марсианский потухший вулкан Олимп – самая высокая гора в Солнечной системе, а Долина Маринера – самый крупный каньон. В настоящее время есть доказательства существования в северном полушарии Марса самого крупного известного ударного кратера в Солнечной системе. Его длина 10 600 км, а ширина 8500 км. Красный цвет поверхности Марса вызван большим количеством оксида железа в его грунте.

Планета имеет сильно разреженную газовую оболочку (атмосферу), которая имеет малую плотность даже в глубоких впадинах. Тем не менее в атмосфере Марса наблюдаются облака и постоянно присутствует дымка из мелких частиц пыли и кристалликов льда. Как показали американские снимки с посадочных модулей «Викинг- 2», марсианское небо в ясную погоду имеет розовый цвет, что объясняется рассеянием солнечного света на пылинках и

подсветкой дымки оранжевой поверхностью планеты. По своему составу марсианская атмосфера близка к атмосфере Венеры и в корне отличается от земной высоким уровнем содержания углекислого газа (95 %), низкой концентрацией азота (2,7 %), аргона (1,6 %), кислорода (0,13 %), водяного пара (0,1 %), угарного газа (0,07 %). По результатам наблюдений с Земли и данных космического аппарата «Марс Экспресс» в атмосфере Марса обнаружен метан. В условиях Марса этот газ довольно быстро разлагается, поэтому должен существовать постоянный источник его пополнения. Таким источником может быть либо геологическая активность (но действующие вулканы на Марсе не обнаружены), либо жизнедеятельность бактерий.

Значительный наклон экватора к плоскости орбиты ( $24^{\circ} 56'$ ) приводит к тому, что на одних участках орбиты освещаются и обогреваются Солнцем преимущественно северные широты Марса, а на других — южные, т.е. происходит смена времен года. При этом вытянутость орбиты приводит к большим различиям их продолжительности. Температурные условия на Марсе суровы, и в наиболее теплое время на экваторе температура достигает  $280\text{—}290^{\circ}\text{K}$ , а в наиболее холодное —  $150^{\circ}\text{K}$ . Поэтому на полярных шапках происходит вымораживание не только паров воды, но и углекислого газа.

Весеннее таяние полярных шапок приводит к резкому повышению давления атмосферы и перемещению больших масс газа в противоположное полушарие. Скорость дующих при этом ветров составляет  $10\text{—}40\text{ м/с}$ , иногда до  $100\text{ м/с}$ . Ветер поднимает с поверхности большое количество пыли, что приводит к пылевым бурям. Сильные пылевые бури практически полностью скрывают поверхность планеты. Пылевые бури оказывают заметное воздействие на распределение температуры в атмосфере Марса.

Из-за низкого давления вода не может существовать в жидком состоянии на поверхности Марса, но вполне вероятно, что в прошлом условия были иными, и поэтому наличие примитивной жизни на планете исключать нельзя. 31 июля 2008 года вода в состоянии льда была обнаружена на Марсе космическим аппаратом НАСА «Феникс». Ледник толщиной в сотни метров, занимающий площадь в тысячи квадратных километров, обнаружен под каменистыми осыпями у подножья гор.

У Марса есть магнитное поле, но оно слабо и крайне неустойчиво, в различных точках планеты его напряженность может отличаться от 1,5 до 2 раз, а магнитные полюса не совпадают с физическими. Вследствие слабости магнитного поля солнечный ветер практически беспрепятственно проникает в атмосферу Марса и многие из фотохимических реакций под действием солнечной радиации, которые на Земле происходят в ионосфере и выше, на Марсе могут наблюдаться практически у самой его поверхности. У планеты есть два спутника — Фобос и Деймос.

## *Спутники Марса*



Фобос и Деймос. располагаются близко к планете и характеризуются весьма быстрым движением (рис.34). В течение марсианских суток (24 ч 39 мин и 35 с) Фобос дважды восходит и дважды заходит. Деймос перемещается по небосводу медленнее; с момента его восхода и захода проходит более двух с половиной марсианских суток. Спутники движутся почти в плоскости экватора. Имеют неправильную форму. К планете повернуты всегда одной стороной. Размеры Фобоса составляют 27 км, а Деймоса — около 15 км. Поверхность спутников состоит из материала с низким альбедо и покрыта многочисленными кратерами. Один из них на Фобосе в поперечнике достигает более 5 км.





*Рис. 34*

### *Спутники Марса*

Предполагается, что оба спутника Марса являются захваченными астероидами.

### **Пояс астероидов**

Располагается между орбитой Марса и Юпитера, где согласно закону планетных расстояний должна была находиться планета (рис.35). Состоит из роя астероидов (малых планет) и мельчайших обломков силикатных, железо-силикатных и железо-никелево-сульфидных образований, а также космической пыли. Размеры астероидов варьируют от 1000 до 1 км в поперечнике. Первый, самый большой астероид Церера открыт в 1801 г. Дж. Пиацци (в настоящее время выделен в отдельную карликовую планету). Сейчас количество астероидов с надежно вычисленными орбитами составляет более 3000. Однако пояс содержит десятки тысяч, возможно миллионы объектов, больше одного километра в диаметре.

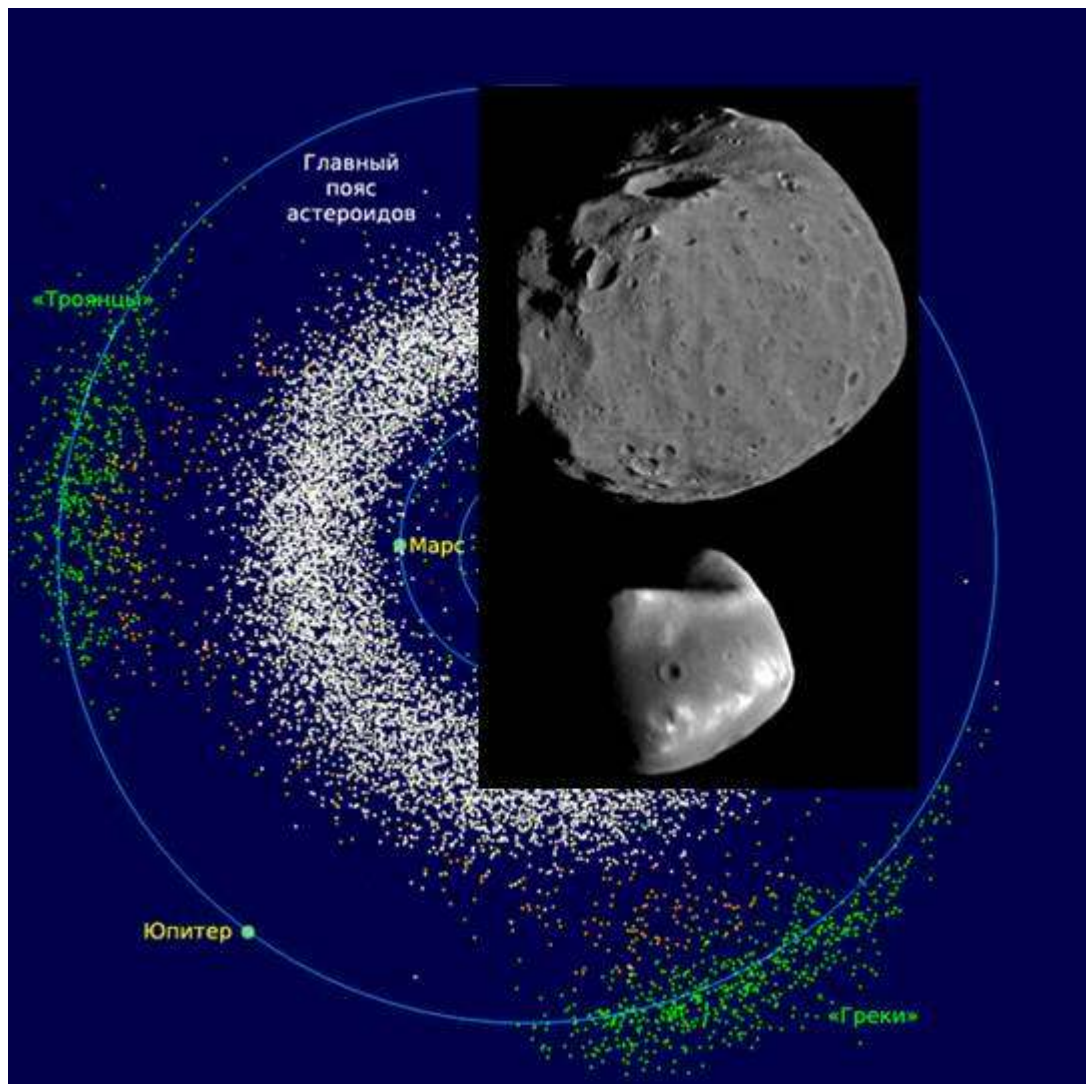


Рис.35 Пояс астероидов

Структура пояса (кольца) астероидов определяется «возмущениями» планет, которые заметно изменяют их орбиты, вызывая *прецессию*. В распределении *перигелиев* орбит четко выражена их более высокая концентрация в направлении перигелия Юпитера — явное указание на преобладающую роль возмущения, вызванных этой планетой.

Свыше 40% всех астероидных тел входит в более чем 50 семейств, характеризующихся близкими значениями полуосей орбит или потоками, сформировавшимися в более поздние времена.

Согласно оценкам, число всех астероидов с диаметром более 1 км и с орбитами, скрещивающимися с орбитой Земли, превышает 1300. Соответственно они должны падать на Землю, образуя кратеры в поперечнике около 10 км, в среднем 1 раз в 100 тыс. лет.

Общая масса астероидов составляет примерно тысячную долю массы Земли. Колебания блеска астероидов связаны с их вращением и неправильной

формой тел. Наиболее точно измерены параметры крупнейших астероидов: Цереры (в настоящее время переведен в ранг планет – карликов), Паллады, Весты. Их плотность варьирует в интервале 2,3—3,3 г/см<sup>3</sup>, что сравнимо с преимущественно каменно-силикатным составом.

Спутники астероидов – астероиды, обращающиеся по орбите вокруг других астероидов. Они не так ясно определяются как спутники планет, будучи иногда почти столь же большими как их компаньон.

В 1804 г. Г. Ольберс (1758 - 1840) выдвинул гипотезу об образовании пояса астероидов в результате распада уже сформировавшейся планеты. Однако позже (1940 г.) О.Ю.Шмидт показал, что Юпитер сформировался быстрее, чем тела, слагающие пояс астероидов.

### *Церера*

Церера – крупнейшее тело пояса астероидов, в 2006 году классифицирована как карликовая планета, имеет диаметр немногим менее 1000 км и массу достаточно большую, чтобы под действием собственной гравитации поддерживать сферическую форму (рис.36).



*Рис.36 Церера*

### **Метеориты**

О составе астероидов мы можем судить по выпадению *метеоритов* на Землю из пояса астероидов. Это каменные, железокатенные или железные образования. Падения метеоритов на Землю сопровождаются световыми, звуковыми и механическими явлениями. По небу пронесится яркий огненный шар, называемый болидом, сопровождаемый светящимся хвостом и разлетающимися искрами. После того как болид исчезает, через, некоторое время (секунды) доносятся взрывы, вызываемые ударными волнами В течение года на Землю выпадает около 2000 метеоритов. Самый крупный железный

метеорит (Гоба), который имел массу около 60 т, был найден в Юго-Западной Африке в 1920 г. Такие крупные метеориты падают редко.

К крупнейшим метеоритам относится и железный Сихотэ-Алинский, упавший в СССР в 1947 г. Он раскололся на тысячи частей. Обнаруженные части составили массу в 23 т.



*Рис.37 Метеорит Вилламетт*

В мировой коллекции собраны метеориты, представляющие около 3500 отдельных падений. Примерно 1/3 из этого числа метеоритов наблюдалась при падении. Остальные — случайные находки (преобладают железные, так как они больше привлекают внимание и более легко распознаваемы от земных пород) (рис.37). На самом деле в Солнечной системе наиболее распространены каменные метеориты, менее — железокаменные и еще меньше — железные.

Изучение метеоритов дает представление о составе, структуре и физических свойствах других небесных тел, а также позволяет оценить состав глубинных частей Земли.

Например, исследование метеоритов показало, что их состав и состав земных пород характеризуется практически одним и тем же набором

химических элементов, что дало возможность сделать вывод о единстве происхождения вещества земных и неземных образований в Солнечной системе. Возраст метеоритов сопоставим с возрастом формирования Земли (4,6 млрд. лет). Изучение метеоритов позволяет судить о процессах, которые происходили на ранних стадиях формирования Солнечной системы.

Хотя в метеоритах встречаются минералы, типичные для земных пород, тем не менее в них обнаруживаются своеобразные минеральные виды, не установленные в условиях образования земной коры.

Железные метеориты преимущественно состоят из железа с примесью – никеля, хрома (первые проценты — десятые доли процента) и кобальта — десятые — сотые доли процента. Примесными компонентами являются различные силикаты, платина, алмазы, карбиды железа, кремния и некоторые другие образования.

Помимо установленных разновидностей метеоритов выделяется особая группа — *тектиты*. Эти удивительные создания представляют собой стеклянные шарики расплавленной застывшей массы силикатного материала, образовавшегося за счет ранее расплавленных капелек вещества земных пород в результате извержения вулканов или падения на Землю крупных обломков метеоритов.

Пояс астероидов надо рассматривать, как остаток протопланетного материала, не сконцентрировавшегося в единое планетарное тело, состав которого нам известен по попадающим к нам метеоритам. Есть предположение, что в некоторых метеоритах содержится также межзвездное вещество, образовавшееся за пределами Солнечной системы.

### **Планеты – гиганты**

Отличаются огромными размерами: по объему в десятки раз больше «твердых» планет; плотность их вещества (в основном водород и гелий) приближается к плотности воды. Они не имеют твердой поверхности, характеризуются быстрым вращением вокруг своей оси, имеют огромное количество спутников, мощные атмосферы, состоящие из водорода, гелия, метана, аммиака, аммония. Планеты покрыты тонкими кольцами; где имеют место гигантские вихри, сохраняющиеся до 100 и 1000 лет; температуры составляют  $-150^{\circ}$  и ниже.

*Юпитер*

Пятая от Солнца и самая большая планета Солнечной системы. Среднее расстояние между Юпитером и Солнцем составляет 778,57 млн. км. Затрачивает на один оборот вокруг Солнца в 12 земных лет.

Юпитер вдвое массивней, чем все остальные планеты Солнечной системы, вместе взятые (рис.38). Масса Юпитера больше массы Земли в 318 раз, но в 1000 раз меньше массы Солнца. Экваториальный радиус планеты в 11 раз больше радиуса Земли.

Подобно Солнцу, Юпитер вращается не как твердое, а как газовое тело. Из-за быстрого вращения эта планета сильно сжата у полюсов (он обладает значительной выпуклостью вокруг экватора). На экваторе сутки длятся около 9 ч. 50 мин. Состоит преимущественно из водорода и гелия (89% и 10% по числу молекул соответственно). Средняя плотность —  $1,33 \text{ г/см}^3$ , что весьма близко к плотности Солнца.



*Рис.38 Юпитер*

Видимая поверхность Юпитера представляет собой верхний уровень облаков, окружающих планету. Облака Юпитера состоят из кристалликов и капелек аммиака. Под облаками находится слой глубиной 7 – 25 тыс. км, в котором водород постепенно изменяет свое состояние от газа к жидкости с увеличением давления и температуры (до  $6000^{\circ} \text{C}$ ). Под жидким водородом находится слой жидкого металлического водорода около 42 – 46 тыс.км. Мощные электротокки, возникающие в этом слое, порождают гигантское магнитное поле. Юпитер имеет твердое каменное ядро, состоящее из тяжелых элементов. Его размеры – 15 – 30 тыс. км в диаметре, ядро обладает высокой плотностью. Температура на границе ядра – порядка 30 000К, а давление – 30-100 млн. атмосфер.



Атмосфера Юпитера состоит из водорода (81 % по числу атомов и 75 % по массе) и гелия (18 % по числу атомов и 24 % по массе). На долю остальных веществ приходится не более 1 %. В атмосфере присутствуют метан, водяной пар, аммиак, имеются также следы органических соединений, этана, сероводорода, неона, кислорода, фосфина, серы. Внешние слои атмосферы содержат кристаллы замороженного аммиака. Внешняя атмосфера планеты явно разделена на несколько вытянутых полос вдоль широт, и это приводит к бурям и штормам вдоль их взаимодействующих границ. Заметный результат этого – Большое Красное пятно, гигантский шторм, который известен с XVII века. В настоящее время оно имеет размеры 15 – 30 тыс. км (значительно больше размеров Земли). Красный цвет Большого Красного Пятна представляет собой загадку. Одной из возможных причин могут быть химические соединения, содержащие фосфор.

Температура в верхнем слое облаков составляет около  $-145^{\circ}$  С. Температура растет с увеличением глубины, ядро планеты разогрето до температуры около  $24\,000^{\circ}$  С – больше, чем на поверхности Солнца.

Количество тепла, которое испускает Юпитер, более чем вдвое превышает тепловую энергию, получаемую от Солнца. Возможно, что идущее из недр планеты тепло выделяется в процессе ее медленного сжатия (1 мм в год!).

Магнитное поле планеты оказалось сложным и состоит как бы из двух полей: дипольного (как у Земли), которое простирается до 1,5 млн. км от Юпитера, и недипольного, занимающего остальную часть магнитосферы. Его напряженность в 20 раз больше напряженности магнитного поля Земли.

На Юпитере отсутствуют времена года. В настоящее время у него обнаружено более 63 спутника – максимальное значение для Солнечной системы.

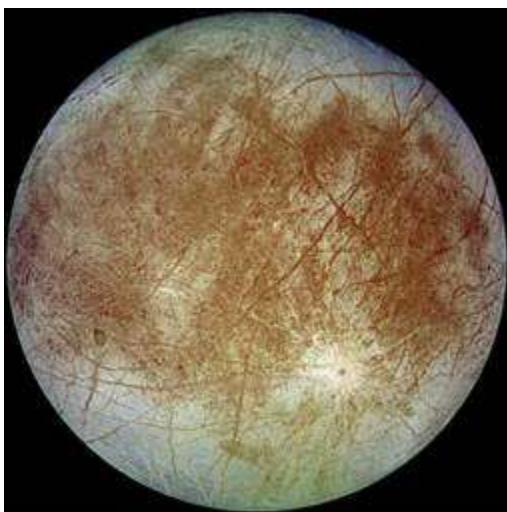
По данным, полученным с американских космических аппаратов «Вояджер», Юпитер окружен в экваториальной области системой колец. Кольца расположены в 55 тыс. км от поверхности планеты, толщина колец не превышает нескольких километров. Существование колец Юпитера было предсказано в 1960 г. так же С. К. Всехвятским (1905 - 1984).

Наличие жизни на Юпитере представляется маловероятным ввиду низкой концентрации воды в атмосфере и отсутствия твердой поверхности.

### *Спутники Юпитера*

Юпитер имеет 63 спутника. Первые 4 спутника были открыты еще Г. Галилеем (Ио, Европа, Ганимед, Каллисто). Они, а также внутренний самый близкий спутник Амальтея движется почти в плоскости экватора планеты. Два

из них по размерам близки к Луне, а третий и четвертый по объему даже больше Меркурия, хотя по массе значительно уступают ему.



*Рис. 39 Европа*

Европа обладает глобальным океаном, в котором не исключено наличие жизни. Океан простирается вглубь на 90 км, его объем превосходит объем земного Мирового океана. Поверхность Европы испещрена разломами и трещинами, возникшими в ледяном панцире спутника (рис.39).

На снимках поверхности Ио, полученных космическими аппаратами «Вояджер», хорошо видны действующие вулканы. Над ними вздымаются светлые облака из газа и пепла, выбрасываемые на высоту до 200 км. Его поверхность покрыта пятнами морей, заполненных расплавленной серой. Вулканизм на Ио был предсказан отечественным астрономом С. К. Всехвятским. Причина вулканизма на Ио лежит в гравитационном воздействии на него со стороны Юпитера.

Ганимед является самым большим спутником не только Юпитера, но и вообще в Солнечной системе среди всех спутников планет. Ганимед и Каллисто покрыты многочисленными кратерами, на Каллисто многие из них окружены трещинами. На этих двух спутниках также предполагается существование подледного океана.

Внешние спутники обращаются вокруг планеты по сильно вытянутым орбитам с большими углами наклона к экватору (до 30°). Это небольшие (10—120 км в поперечнике) тела неправильной формы. Самые внешние спутники вращаются вокруг планеты в обратном направлении.

*Сатурн*



Шестая по порядку и вторая по величине планета Солнечной системы. Масса планеты в 95 раз превышает массу Земли (рис.40). Среднее расстояние между Сатурном и Солнцем составляет 1433 531 000 километров. Двигаясь со средней скоростью (примерно 9,69 км/с), Сатурн обращается вокруг Солнца за 10 759 дней (примерно 29,5 лет). Один оборот вокруг оси Сатурн совершает за 10 часов 34 минуты и 13 секунд.

Его экваториальный радиус немного меньше, чем у Юпитера, но по массе она втрое меньше Юпитера, так как плотность ее всего 0,7 г/см<sup>3</sup> (меньше плотности воды). Низкая плотность Сатурна связана с тем, что планета состоит в основном из водорода, с примесями гелия и следами воды, метана, аммиака и «горных пород» и не имеет твердой поверхности. Внутренняя область представляет собой небольшое ядро из горных пород и льда, покрытого тонким слоем металлического водорода и газообразным внешним слоем.

Верхние слои атмосферы Сатурна состоят на 93 % из водорода (по объему) и на 7 % - из гелия. Имеются примеси метана, водяного пара, аммиака и некоторых других газов. Аммиачные облака в верхней части атмосферы мощнее юпитерианских. На Сатурне дуют сильные ветры, в основном в восточном направлении, скорость ветра может достигать 1800 км/ч. В атмосфере обнаружены мощные грозовые разряды, полярные сияния, ультрафиолетовое излучение водорода. Температура поверхности облаков на Сатурне -184 °С.

У Сатурна имеется планетарное магнитное поле, занимающее промежуточное звено по мощности между магнитным полем Земли и мощным полем Юпитера. Магнитное поле Сатурна простирается на 1 млн. км в направлении Солнца.

Сатурн окружен системой колец, которые отмечал еще Г. Галилей в 1610 г. Эти удивительные образования опоясывают планету по экватору и нигде не соприкасаются с поверхностью. В кольцах выделяются три основных концентрические зоны, отграниченные узкими щелями: внешнее кольцо А, среднее В (наиболее яркое), внутреннее кольцо С, довольно прозрачное, «креповое», внутренний край его нерезкий. Наиболее близкие к планете слабо различимые части внутреннего кольца обозначают символом D. Сквозь все кольца просвечивают звезды. На самом деле кольца образованы из тысячи колец, чередующихся со щелями, картина напоминает дорожки грамофона. Кольца вращаются вокруг Сатурна, причем скорость вращения внутренних колец выше внешних. Таким образом, они не являются сплошными образованиями, а представляют собой плоскую систему из бесчисленного количества мелких спутников планеты. Размеры частиц достигают нескольких сантиметров, предполагается присутствие более крупных и мелких частиц, в том числе пыли.



*Рис.40 Сатурн*

Угол плоскости наклона колец к экватору равен  $28^\circ$ . В зависимости от положения планеты на орбите мы видим кольца то с одной, то с другой стороны. Полный цикл изменения их вида завершается через 29,5 лет — таков период обращения Сатурна вокруг Солнца. Кольца Сатурна очень тонкие. При диаметре 250 000 км их толщина не достигает и километра.

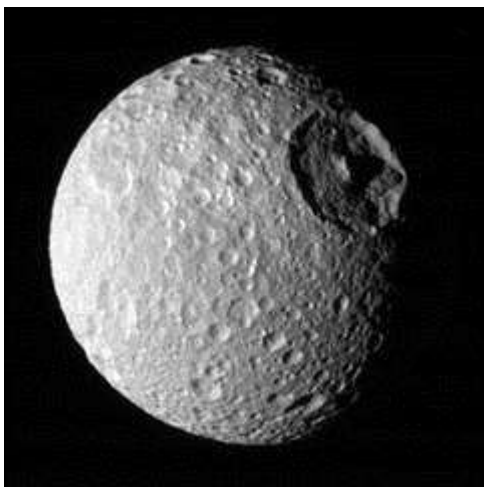
Инфракрасные спектры колец Сатурна напоминают спектры водяного инея. Однако в других частях спектра была обнаружена особенность, не характерная для чистого льда. Происхождение колец Сатурна не совсем ясно. Тем не менее, это нестабильная система, а материал, из которого они состоят, периодически замещается, вероятно, из-за разрушения некоторых мелких спутников.

### *Спутники Сатурна*

Вокруг Сатурна в настоящее время обнаружено 62 спутника. Наиболее крупные: Мимас, Энцелад, Тефия, Диона, Рея, Титан. Гиперион, Япет, Феба, Янус. Ближайший из них Янус, движется настолько близко к планете, что обнаружить его удалось только при затмении колец Сатурна, которые создают вместе с планетой яркий ореол, затрудняющий наблюдение спутника.

Титан — один из величайших спутников Солнечной системы по размерам и массе, превосходящий Меркурий. Его диаметр приблизительно такой, как у Ганимеда. Титан окружен атмосферой, состоящей из метана и водорода, в которой движутся непрозрачные облака. Ученые предполагают, что условия на этом спутнике схожи с теми, которые существовали на нашей планете 4 миллиарда лет назад, когда на Земле зарождалась жизнь.

На Титане и Энцеладе проявляются признаки вулканической активности. Активность эта не схожа с земной, поскольку в значительной степени обусловлена активностью льда.



*Рис.41 Мимас*

Все спутники Сатурна, кроме Фебы, обращаются в прямом направлении. Феба движется по орбите с довольно большим эксцентриситетом в обратном.

Существует полная согласованность между кольцами и спутниками планеты. И действительно, некоторые из них, так называемые «спутники - пастухи», играют роль в удержании колец на их местах. Мимас (рис.41), например, «отвечает» за отсутствие вещества в щели Кассини, а Пан находится внутри разделительной полосы Энке.

### *Уран*

Уран – седьмая по удаленности от Солнца, третья по диаметру и четвертая по массе планета Солнечной системы (рис.42). Была открыта в 1781 году английским астрономом У. Гершелем и названа в честь греческого бога неба Урана. Период обращения Урана вокруг Солнца составляет 84 земных года.



Уран стал первой планетой, обнаруженной при помощи телескопа. Не смотря на то, что Уран различим невооруженным глазом, ранее наблюдатели никогда не признавали Уран за планету из-за его тусклости и медленного движения.

*Рис.42 Уран*

Уран тяжелее Земли в 14,5 раз, что делает его наименее массивной из планет гигантов Солнечной системы. Период вращения Урана вокруг своей оси составляет 17 часов 24 минуты. В отличие от других планет Солнечной системы Уран вращается как бы лежа на боку, т. е. ось его вращения лежит почти в плоскости орбиты под углом  $97,86^{\circ}$  (у остальных планет ось вращения примерно перпендикулярна плоскости орбиты). Вследствие этого планета бывает обращена к Солнцу попеременно то северным полюсом, то южным, то экватором, то средними широтами. Если другие планеты можно сравнить с вращающимися волчками, то Уран больше похож на катящийся шар. В настоящее время наземными наблюдениями удалось различить признаки сезонных изменений и увеличения погодной активности на планете, вызванных приближением Урана к точке своего равноденствия. Скорость ветров на Уране может достигать 240 м/с.

Наиболее удивительная особенность Урана состоит в том, что планета имеет невыразительный облик — это голубовато-зеленый шар без особых «деталей». Предполагают, что Уран имеет сложную слоистую структуру облаков, где вода составляет нижний слой, а метан – верхний. Температура ниже облачного слоя (на уровне давления 0,4 земного) составляет 49 К или —  $224^{\circ}\text{C}$ . Это самая холодная планетарная атмосфера Солнечной системы. Основу атмосферы Урана составляют водород и гелий. Кроме того, в атмосфере обнаружены следы метана и других углеводородов.

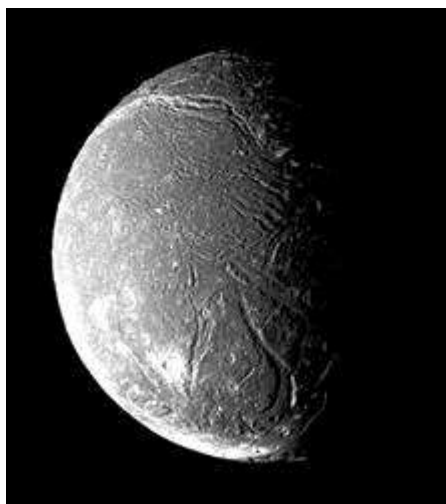
Плотность Урана, равная  $1,27 \text{ г/см}^3$ , ставит его на второе место после Сатурна по наименьшей плотности среди планет Солнечной системы. Уран состоит в основном из льдов – водного, аммиачного и метанового. Водород и гелий составляют лишь малую часть от общей массы, оставшаяся доля приходится на горные породы (ядро). Стандартная модель Урана предполагает, что Уран разделен на три части: в центре каменное ядро, в

середине ледяная оболочка и снаружи водородно-гелиевая атмосфера. По сравнению с Сатурном и Юпитером он имеет более плотный состав, что противоречит простой модели образования планет Солнечной системы, когда роль водорода и гелия в составе планет должна возрастать по направлению от Юпитера к Сатурну, Нептуну и Плутону. Возможно, ледяные компоненты Урана и Нептуна обязаны своим происхождением кометам, находящимся во внешних областях Солнечной системы зоны Оорта. В отличие от газовых гигантов – Сатурна и Нептуна, состоящих в основном из водорода и гелия, в недрах Урана и схожего с ним Нептуна отсутствует металлический водород. За счет того, что много высокотемпературных модификаций льда специалисты выделили эти две планеты в отдельную категорию «ледяных гигантов». Измерения «Вояджера – 2» позволили обнаружить у Урана специфическое магнитное поле, которое не направлено из геометрического центра планеты, и наклонено на 59 градусов относительно оси вращения. Вокруг Урана имеется 27 спутников. Кроме спутников вокруг него движется множество мелких частиц, образующих своеобразные кольца, не похожие на знаменитые кольца Сатурна. На данный момент у Урана известно 13 колец.

#### *Спутники Урана.*

«Вояджер-2» сфотографировал пять больших спутников Урана с близкого расстояния — Оберон, Титанию, Умбриэль, Ариэль и Миранду.

Спутниковая система Урана наименее массивна среди спутниковых систем газовых гигантов. Даже объединенная масса всех этих пяти спутников не составит и половины массы Тритона, спутника Нептуна. Наибольший из спутников Урана, Титания, имеет радиус всего в 788,9 км, что менее половины радиуса земной Луны. Луны Урана – это скопления льда и горных пород в соотношении примерно 50 на 50. Лед может включать в себя аммиак и углекислый газ.



*Рис.43 Ариэль .*

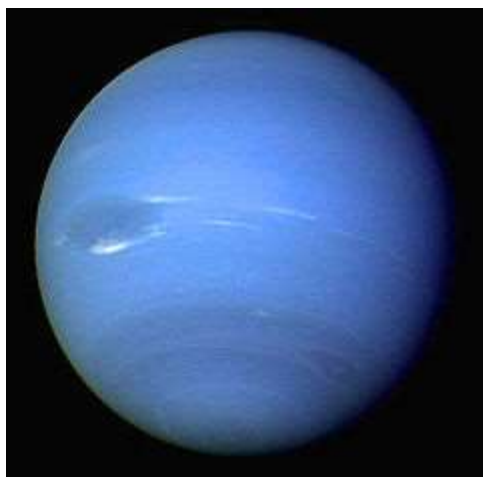
У Ариэля (рис.43) самая молодая поверхность с наименьшим количеством кратеров. Поверхность Умбриэля самая старая. На Миранде имеются каньоны до 20 км глубиной, террасы и хаотичный ландшафт.

### *Нептун*

Эта восьмая и самая дальняя планета Солнечной системы была открыта необычным образом по результатам наблюдений отклонений в движении Урана, сделанных в 1781 г. английским астрономом и оптиком У. Гершелем (1738 - 1822), английским астрономом Дж. Адамсом (1819 - 1892) и французским астрономом У. Леверье (1811 - 1877). Получив данные У. Леверье, ассистент Берлинской обсерватории И. Галле (1812 - 1910) 23 сентября 1846г. обнаружил планету. Планета была названа в честь римского бога морей.

Нептун является четвертой по диаметру и третьей по массе планетой (рис.44). Масса Нептуна в 17,2 раза, а диаметр экватора в 3,9 раза больше таковых у Земли.

Период обращения по орбите настолько длинен (164 года и 288 дней), что с момента открытия Нептун еще не завершил полный оборот вокруг Солнца.



*Рис.44 Нептун*

Плотность планеты оказалась равной  $2,3 \text{ г/см}^3$ . Нептун по составу близок к Урану. Атмосфера Нептуна состоит в основном из водорода и гелия, подобно атмосфере Юпитера и Сатурна, со следами углеводородов и, возможно, азота, однако содержит в себе более высокую пропорцию льдов: водного, аммиачного, метанового. Ядро Нептуна, как и Урана, состоит главным образом из льдов и горных пород. Следы метана во внешних слоях атмосферы, в частности, являются причиной синего цвета планеты.

В атмосфере Нептуна бушуют самые сильные ветры среди планет Солнечной системы, по некоторым оценкам, их скорости могут достигать  $2100 \text{ км/ч}$ . Во время полета «Вояджера - 2» в 1989 году в южном полушарии Нептуна было обнаружено так называемое Большое темное пятно, аналогичное Большому красному пятну на Юпитере.

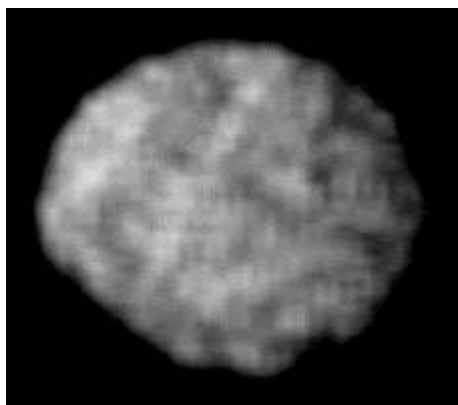
Своей магнитосферой, и магнитным полем, сильно наклоненным на  $47^\circ$  относительно оси вращения планеты, и распространяющегося на  $0,55$  от ее радиуса (приблизительно  $13\,500 \text{ км}$ ) Нептун напоминает Уран.

У Нептуна есть слабая и фрагментированная кольцевая система. Кольца могут состоять из ледяных частиц, покрытых силикатами, или основанными на углероде материалом, вероятно, это он придает им красноватый цвет.

В настоящее время вокруг Нептуна вращается 13 спутников. Также Нептун сопровождается астероидами, называемыми *Нептунские троянцы*, которые находятся с ним в резонансе 1:1.

### *Спутники Нептуна*

У Нептуна имеется 13 спутников (рис 45). Наиболее крупные из них являются: Тритон и Нереида. Тритон по размерам и массе больше Луны. Имеет обратное направление вращения и является геологически активным, с гейзерами жидкого азота. Нереида обладает сильно вытянутой орбитой. Направление вращения по орбите — прямое.



*Рис.45 Ларисса - спутник Нептуна*

## **Малые тела Солнечной системы**

### *Кометы*

Первым стал исследовать кометы датский астроном Тихо Браге, а затем его ученик, немецкий ученый И. Кеплер. Первым, кто предположил, что кометы – члены Солнечной системы, был Э. Галлей (1656-1742), он первым доказал периодичность движения комет. Общее число комет в Солнечной системе более десятков миллиардов, т.е. она окружена облаками комет, ежегодно наблюдается 15 – 20 комет (рис.46).



*Рис. 46 Комета Хейла-Боппа*

Кометы – малые тела Солнечной системы, обычно размером в несколько километров, состоящие главным образом из летучих веществ (льдов.). Их орбиты имеют большой эксцентриситет, как правило, с перигелием в пределах орбит внутренних планет и афелием далеко за Плутоном. Когда комета входит во внутреннюю область Солнечной системы и приближается к Солнцу, ее ледяная поверхность начинает испаряться и ионизироваться, создавая кому: длинное облако из газа и пыли, часто видимое невооруженным глазом. Газы захватывают пыль и вместе с ней образуют голову кометы и хвост, достигающий сотен миллионов километров. Иногда образуется несколько хвостов. Потoki электрических частиц, исходящих от Солнца вызывают свечение разряженного газа в хвостах комет.



Короткопериодические кометы имеют период меньше 200 лет. Период же долгопериодических комет может равняться тысячам лет.

### *Кентавры*

Кентавры – ледяные кометоподобные объекты с большой полуосью, большей, чем у Юпитера и меньшей чем у Нептуна. У крупнейшего из известных кентавров, Харикло, диаметр приблизительно равен 250 км.

### *Транснептуновые объекты*

Пространство за Нептуном, или «регион транснептуновых объектов», все еще в значительной степени не исследовано. Предположительно, оно содержит только малые тела, состоящие главным образом из камней и льда.

### *Пояс Койпера*

Пояс Койпера – область реликтов времен образования Солнечной системы, являющийся большим поясом осколков, подобным поясу астероидов, но состоящий в основном из льда. Он простирается между 30 и 55 а.е. от Солнца. Составлен главным образом малыми телами Солнечной системы. По оценкам, более 100 000 объектов пояса Койпера имеют диаметр больше 50 км, но полная масса пояса равна только одной десятой или даже сотой массы Земли. Многие объекты пояса обладают множественными спутниками, и большинство объектов орбиты располагаются вне плоскости эклиптики. Пояс Койпера разделен на «классический» пояс и резонансы. Резонансы – транснептуновые объекты, чья орбита создает орбитальный резонанс с орбитой Нептуна. Классические объекты пояса Койпера не находятся с Нептуном в орбитальном резонансе и простираются примерно от 39,4 до 47,7 а.е.

### **Планеты – карлики**

23 августа 2006 года международный астрономический союз выделил еще одну категорию планет солнечной системы: *планеты – карлики*. Карликовая планета – небесное тело, обращающееся по орбите вокруг Солнца, которое достаточно массивно, чтобы под действием собственных сил гравитации поддерживать близкую к округлой форму, но которое не очистило пространство своей орбиты от планетозималий и не является спутником планеты. По этому определению у Солнечной системы имеется пять признанных карликовых планет: Церера (находится в поясе астероидов), Плутон, Хаумеа, Макемаке и Эрида. В будущем другие объекты могут быть классифицированы как

карликовые планеты, например, Седна, Орк и Кварвар, Варун. Эти объекты находятся в поясе Койпера, в пространстве за Нептуном.

### *Плутон*

Плутон – карликовая планета, крупнейший известный объект пояса Койпера (рис.47).



*Рис.47 Плутон*

Плутон открыт К. Томбо (1906 - 1997) в 1930 г. Он очень медленно (за 247,7 года) совершает оборот по орбите, которая имеет небольшой ( $17^{\circ}$ ) наклон к плоскости *эклиптики* и вытянута настолько, что в *перигелии* Плутон подходит к Солнцу на более короткое расстояние, чем Нептун.

Плутон не относится ни к твердым, ни к газообразным планетам. По признакам, наблюдаемым с Земли, эта планета похожа на гигантское ледяное тело. Поверхность Плутона покрыта замерзшим метаном, а тонкая атмосфера периодически превращается в метановый снег. Вполне возможно, что Плутон представляет собой реликтовую часть материала, из которого образовалась наша Солнечная система.

Плотность Плутона больше плотности других внешних планет Солнечной системы. Поэтому ученые предполагают, что он либо образовался в другом месте Солнечной системы и в результате катастрофических возмущений орбиты занял современное положение, либо сформировался в иной планетной системе и лишь впоследствии был «захвачен» Солнцем. Все планеты Солнечной системы движутся в одном направлении, в единой

плоскости, а Плутон составляет исключение. Движение его осуществляется в противоположном направлении.

Атмосфера Плутона весьма разрежена и состоит из газообразного метана с возможной примесью инертных газов. Масса его составляет 1,7 % массы Земли.

Неясна ситуация с наибольшим спутником Плутона – Хароном. Продолжит ли он классифицироваться как спутник Плутона или будет переклассифицирован в карликовую планету. Поскольку центр масс системы Плутон – Харон находится вне их поверхностей, они должны рассматриваться в качестве двойной планетарной системы. Два меньших спутника – Никра и Гидра, обращаются вокруг Плутона и Харона.

### *Хаумеа*

Хаумеа – карликовая планета, хотя и меньше Плутона, но крупнейший из известных классических объектов пояса Койпера. Хаумеа имеет сильно вытянутую форму и период вращения вокруг своей оси 4 часа. Два спутника и еще по крайней мере восемь транснептуновых объектов являются частью семейства Хаумеа, которое сформировалась миллиарды лет назад из ледяных осколков, после того как большое столкновение разрушило ледяную мантию Хаумеа. Орбита карликовой планеты обладает большим наклоном –  $28^{\circ}$ .

### *Макемаке*

Макемаке получила название карликовой планеты в 2008 году. В настоящее время является вторым по видимой яркости в поясе Койпера после Плутона. У Макемаке не обнаружено спутников. Имеет диаметр от 50 до 75 % диаметра Плутона, орбита наклонена на  $29^{\circ}$ .

### *Рассеянный диск*

Рассеянный диск частично перекрывается с поясом Койпера, но простирается намного далее за его пределы и, как предполагают, является источником короткопериодических комет. Многие объекты рассеянного диска имеют перигелий в пределах пояса Койпера, но их афелий может простираться до 150 а.е. от Солнца. Орбиты объектов весьма наклонены к поясу эклиптики и часто почти перпендикулярны ему.

### *Эрида*

Эрида (68 а.е. в среднем) – крупнейший объект рассеянного диска (рис. 48). Она является наибольшей из известных карликовых планет, на 5 % больше, чем Плутон и имеет предполагаемый диаметр 2400 км. У Эриды имеется один спутник – Дисномия. Орбита сильно вытянута с перигелием 38,2

а.е. и афелием 97,6 а.е. Орбита сильно наклонена к плоскости эклиптики на  $44,177^{\circ}$ .

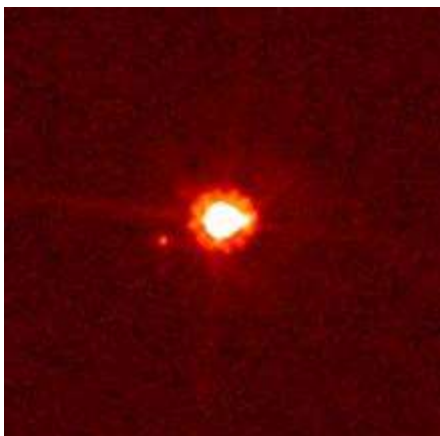
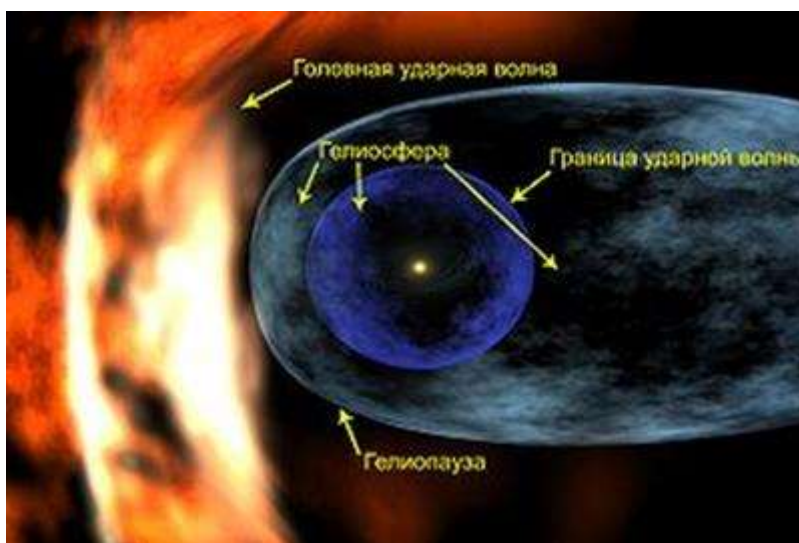


Рис.48 Эрида

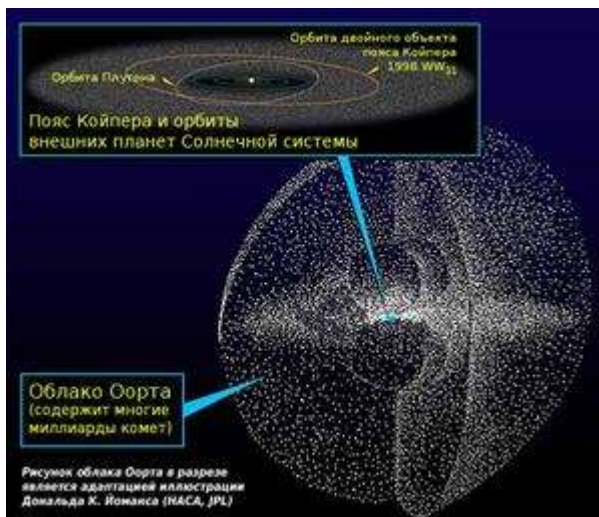
### Отдаленные области

Вопрос о том, где именно заканчивается Солнечная система и начинается межзвездное пространство, неоднозначен. Ключевыми в их определении принимают два фактора: солнечный ветер и солнечное тяготение. Внешняя граница солнечного ветра – *гелиопауза*, за ней солнечный ветер и межзвездное вещество смешиваются, взаимно растворяясь. *Гелиопауза* находится примерно в четыре раза дальше Плутона и считается началом межзвездной среды. Область пространства, ограниченная *гелиопаузой*, называется *гелиосферой* (рис.49).



*Рис.49 Гелиосфера*

Однако предполагают, что область, в которой гравитация Солнца преобладает над галактической – сфера Хилла, простирается в тысячу раз дальше. К отдаленным областям Солнечной системы относится облако Оорта – гипотетическое сферическое облако ледяных объектов, служащее источником долгопериодических комет (рис.50). В 2003 году М. Браун открыл Седну – большой, подобный Плутону, красноватый объект с гигантской, чрезвычайно эллиптической орбитой, от приблизительно 76 а.е. в перигелии до 975 а.е. в афелии и периодом в 12 050 лет. Астрономы считают, что это первый объект новой популяции. Браун назвал эту популяцию «внутренним облаком Оорта». Седна могла бы быть признана карликовой планетой, если бы достоверно была определена ее форма.



*Рис.50 Предполагаемый вид облака Оорта*