

# ***ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ***

*Часть I*

## ***Солнечная система***

фрагмент главы «Солнечная система»

из учебного пособия Винника М.А. «Концепции современного естествознания», 2010.

Предложенный материал предназначен для учителей, школьников старших классов.

Будет полезен также широкому кругу читателей, интересующихся вопросами астрономии и современного естествознания в целом.

## Оглавление

Строение и эволюция Солнечной системы .....	2
1.1. Планетные системы. Происхождение Солнечной системы .....	2
1.2. Планеты земной группы.....	12
1.3. Планеты-гиганты .....	27
1.4. Малые тела Солнечной системы.....	41
1.5. Жизнь в Солнечной системе.....	53
Рекомендуемая литература .....	58

## Строение и эволюция Солнечной системы

### 1.1. Планетные системы. Происхождение Солнечной системы

До недавнего времени эмпирически обоснованными данными о существовании планетных систем у других звезд астрономия не обладала. Возможности наблюдательной техники не позволяли в этом убедиться. Однако с помощью нового поколения телескопов начиная с 90-х годов прошлого века удалось открыть немало планет за пределами Солнечной системы – у звезд, расположенных в радиусе примерно ста световых лет от нас. У ряда звезд открыты планетные системы, состоящие из двух-трех планет разных масс. У некоторых экзопланет удалось обнаружить присутствие атмосферы. Согласно последним оценкам не менее 10% общего числа звезд в Галактике (т.е. порядка 15-20 млрд.) имеют свои планетные системы.

В настоящее время астрономами уже обнаружено более 300 экзопланет. Однако выводы об их существовании делаются на основании косвенных показателей, таких как изменение траектории движения звезды под воздействием гравитационного поля планеты или используется метод транзитной фотометрии, который основан на наблюдении за прохождением планеты на фоне звезды.

Все до сих пор открытые планеты относятся к планетам-гигантам типа Юпитера, т.е. состоят преимущественно из водорода и гелия. Их называют горячими Юпитерами. Для таких планет вероятность обнаружения жизни ничтожно мала. Планеты же, масса которых сравнима с массой Земли, теоретически могут быть пригодны для жизни. Однако на практике наука пока не располагает средствами для доказательства наличия или отсутствия признаков жизни на отдаленных планетах.

Планет земного типа в других системах намного меньше, чем планет типа Юпитера. По-видимому, наша Солнечная система не относится к планетным системам со среднестатистическим распределением химических элементов во Вселенной и сложилась в особых условиях. Ее образование имело свои особенности, связанные с обогащением водородно-гелиевого пылевого диска тяжелыми элементами. Таким образом, открытие других планетных систем вновь привлекло внимание к проблемам происхождения и распространения

химических элементов во Вселенной, особенностям химического состава Солнечной системы.

Итак, образование планетных систем (планетогенез) – не исключительное явление, а повсеместный момент эволюции материи. А наша планетная система – закономерное звено организации галактической и звездной материи, одна из многих подобных систем нашей Галактики. Но у нее есть и свои важные отличительные черты.

### **Историческое развитие концепций происхождения Солнечной системы.**

На протяжении веков и даже тысячелетий ученые пытались выяснить прошлое, настоящее и будущее Вселенной, в том числе и Солнечной системы. Однако до сих пор представления о происхождении и ранней эволюции Солнечной системы не приобрели характера законченной теории. Тем не менее, считается, что основные события, происходившие во время зарождения Солнца и планет, уже во многом установлены.

В 1609 г. Г. Галилей, построив свой второй телескоп с увеличением в 32 раза, посмотрел в него на Солнце, где на ярком фоне увидел темные пятна. Их приняли за следы охлаждения светила, хотя на самом деле это были протуберанцы, свидетельствующие о его активности. На основании этого представления французский ученый Р. Декарт (1596 – 1650) предложил первую теорию образования Солнечной системы.

По теории Декарта, мировое пространство было заполнено эфиром – всепроницающей жидкостью, частицы которой участвуют в непрерывном вихревом движении. Эти вихри и закручивают планеты. И. Ньютон предложил теорию, согласно которой небесные тела возникли из разреженной материи из-за неравномерного распределения плотности. Но он не мог объяснить, почему планеты движутся по орбитам, и заявил, что здесь не обошлось без божественного вмешательства. Его сотрудник У. Уистон, стараясь не прибегать к религии, полагал, что сначала Земля была кометой, которая вращалась вокруг Солнца, потом столкнулась с другой кометой, и в результате она стала вращаться вокруг своей оси. Вопрос о возрасте Земли и незаметных в короткие промежутки времени изменениях, которые могут накапливаться на больших интервалах времени, стал обсуждаться в XVIII в.

Ж. Бюффон (1707 – 1788), развивая идею Декарта, создал свою теорию образования планет Солнечной системы. В изданной в 1749 г.

книге «История и теория Земли» он высказал мнение, что планеты возникли вследствие столкновения некой кометы с Солнцем. Этот взрыв выбил из светила гигантские капли, завращавшиеся на разных расстояниях вокруг него и вокруг своих осей. Остынув, капли стали планетами. Бюффон сумел объяснить одинаковое направление вращения планет и расположение их почти в одной плоскости. Идеи Бюффона вводили историзм в естествознание, заложили основу естественнонаучной космогонии и вызвали первую небулярную гипотезу происхождения планет (от лат. *nebula* – туман, облако).

Гипотезы о происхождении Солнечной системы из некой туманности были предложены немецким философом И. Кантом (1724 – 1804) и П. Лапласом. Точка зрения Канта, изложенная в 1755 г. в книге «Общая естественная история и теория неба», заключается в эволюционном развитии холодной пылевой туманности, в ходе которого сначала возникло центральное массивное тело – Солнце, а потом родились и планеты.

Помимо прочего, из анализа имеющихся данных Кант сделал удивительно верные выводы о возможности существования планет далее Сатурна и даже о том, что его кольца состоят из метеоритов, причем подобные кольца могут быть и у других планет. В одной из частей его книги была изложено предположение о возможности жизни на других планетах, для чего Кант собрал имеющиеся сведения о необходимых для жизни температуре, плотности веществ, силе тяжести.

Лаплас в книге «Изложение системы мира», изданной в 1796 г., предложил считать первоначальную туманность газовой и очень горячей, находящейся в состоянии быстрого вращения. Сжимаясь под действием силы всемирного тяготения, туманность вследствие закона сохранения момента импульса вращалась все быстрее и быстрее. Под действием больших центробежных сил, возникающих при быстром вращении в экваториальном поясе, от него последовательно отделялись кольца, превращаясь в результате охлаждения и конденсации в планеты, которые образовались раньше Солнца.

Несмотря на такое значительное различие между двумя гипотезами, общей их важнейшей особенностью является представление, что Солнечная система возникла в результате закономерного развития туманности. Поэтому и принято называть эту концепцию «гипотезой Канта – Лапласа».

Хотя спустя некоторое время обе гипотезы были признаны несостоятельными в существенных деталях, каждая содержала отдельные плодотворные идеи, которые не раз использовались в дальнейшем. О первой вспомнили, когда столкнулись в конце XIX в. с неустраняемым на основе механики пороком гипотез Канта и Лапласа: распределение в Солнечной системе момента количества движения, обратное распределению в ней масс, необъяснимо в этих механических гипотезах, что делало идею о единой родительской туманности Солнца и планет противоречащей одному из основных принципов механики.

Противоречие снималось идеей взаимодействия Солнца с внешним телом. Эта идея получила воплощение в ряде вариантов предполагавшегося приливного воздействия на Солнце (теперь уже считавшегося раскаленным газовым шаром) прошедшей вблизи него звезды. Она развивалась в гипотезах Э. Фая (1884), Т. Чемберлена (1900) и Ф. Мультона (1916), Х. Джеффриса (1916) и Д. Джинса (1917). Согласно первой, вырванное из Солнца вещество закручивается спиралью около него и разбивается на большие фрагменты, сгущающиеся в планеты. Вторая допускала, что вырванное вещество быстро остывает, собирается в мелкие «хлопья» – планетезимали, которые холодным образом слипаются при неупругих ударах в крупные тела – планеты и спутники.

Последние два автора, под давлением тогдашних геологических данных о прохождении планет через жидкую, расплавленную стадию, вновь допускали, что раскаленное вырванное вещество Солнца дает начало планетам, не успев остыть. Таким образом, в некоторых приливных гипотезах на новой, гравитационной основе возрождалась идея вихревого движения. Наиболее оригинальную мысль в связи с этим высказывал Джинс, допускавший одно время, что в центрах космических вихрей – спиралей происходит «втекание» в нашу Вселенную из неведомых нам пространств потока материи, которая и рождает видимый вихрь (спираль). Так уже в первые десятилетия XX в. в астрономическую картину мира вновь вошло представление о существовании в космосе «сингулярностей» – областей, не подчиняющихся известным законам физики.

Идея вихрей используется некоторыми крупными астрономами и в наши дни для описания процессов в центрах активных галактик и квазаров и даже при описании возникновения крупномасштабной ячеистой структуры Вселенной. Приливные гипотезы были полно-

стью оставлены в 30-е гг. XX в. – и как провозглашавшие уникальность, чрезвычайную редкость образования планетных систем, и, главное, как не сумевшие преодолеть парадокс, связанный с моментом количества движения. Это показали относительно гипотезы Джинса-Джеффриса Г. Рессел в 1938 г. и, окончательно, Н. Парийский в 1943 г. Наиболее ценным результатом развития этих гипотез было возрождение и значительно более четкая, чем у Канта, формулировка идеи «промежуточных» тел – планетезималей в гипотезе Чемберлина-Мультона и идея холодного крайне медленного слипания планетезималей. Первая объясняла недостаток на Земле легких летучих элементов, а вторая – большой возраст Земли (приближавшийся уже по тогдашним оценкам геологов к миллиарду лет). Надо сказать, что у Канта идея холодного образования планет оказывалась само собой разумеющейся: формирующееся одновременно с планетами Солнце разогревалось, по его концепции, лишь после завершения своего формирования.

### **Современные взгляды на образование Солнечной системы.**

Отечественные ученые О.Ю. Шмидт (1891 – 1956) и его последователь В.Г. Фесенков (1889 – 1972) осуществили синтез различных направлений в космологии. По их представлениям, как было указано выше, звезды солнечного типа образуются в газопылевых облаках с массой, превышающей в 105 раз массу Солнца. По-видимому, Солнце образовалось вместе с группой звезд в ходе чередующихся процессов сжатия и фрагментации такого облака.

В 1944 г. О.Ю. Шмидт выдвинул свою «метеоритную гипотезу» образования планетной системы при взаимодействии двух независимых (т.е. каждый со своим моментом количества движения) объектов: Солнца и «роя тел», захваченного им при прохождении через экваториальную зону Галактики, где подобной мелкодисперсной (метеорной) материи достаточно много. Последнее обстоятельство делало подобную встречу существенно более вероятной, чем у Джинса. Хотя в острых дискуссиях с астрономами Шмидт сумел обосновать возможность подобного захвата (эта идея была развита советским астрономом-математиком Г. Хильми), эту часть концепции, в целом вынужденную, Шмидт в дальнейшем оставил, перейдя от чисто метеорного облака к газовой-пылевой.

Важной позитивной особенностью теории Шмидта считается рассмотрение протопланетного облака как генетически связанного со звездой (Солнцем). Эта идея в наши дни находит подтверждение в

открытии вокруг молодых звезд холодных «молекулярных облаков» из газа сложного химического состава и пыли (в основном силикатной). Впервые в истории космогонии (и астрономии в целом) Шмидт объяснил найденный в свое время как эмпирическое правило закон планетных расстояний Тициуса-Боде, а также вычислил возраст Земли (найденное для этой величины число согласуется с результатами вычислений возраста земной коры по составу радиоактивных изотопов в горных породах – около 4,5 млрд. лет). Развитая Шмидтом теория холодного формирования планет из газовой-пылевой облака составляет основное ядро его космогонической концепции и содержит наиболее ценные результаты. Она оказала чрезвычайно большое влияние на все дальнейшее развитие планетной космологии и легла в основу современных, практически ставших общепризнанными, представлений.

Наконец, важная группа вопросов, рассмотренных в космогонии О.Ю. Шмидта, относится к проблеме термической истории и, более широко, эволюции Земли как планеты после завершения в основном процесса ее формирования из газовой-пылевой материи. Исходным пунктом здесь явился общий вывод Шмидта об отсутствии в развитии планет и Земли огненно-жидкой стадии всей планеты в целом. Этот вывод позволяет предположить гораздо более раннее возникновение гидросферы Земли и, следовательно, дает возможность отнести возникновение жизни на Земле к эпохе на миллиарды лет более ранней, чем при допущении огненно-жидкого начального состояния Земли. Разогревание Земли и частичное расплавление ее центральных областей, согласно Шмидту, происходило уже потом, постепенно, в результате накопления внутри нее тепла не только в результате сжатия протопланеты, но главным образом за счет распада радиоактивных элементов (урана, тория и др.).

Согласно гипотезе Шмидта процесс образования планет условно разделен на два этапа. На первом этапе, длившемся менее 1 млн. лет, из пылевой компоненты облака образовалось множество промежуточных тел размером в сотни километров. На втором этапе длительностью около 100 млн. лет из роя промежуточных тел и их обломков аккумуляровались планеты. Самые крупные планеты – Юпитер и Сатурн на основной стадии аккумуляции вбирали в себя не только твердые тела, но и газы. Процесс формирования планет из роя промежуточных тел практически не зависит от механизма образования этих тел.



Об ошибочности концепции Шмидта свидетельствует непрерывное выделение из недр Земли водорода, гелия, азота, аргона и других газов, интенсивность которого столь велика, что масса вышедшего за последние 4 млрд. лет самого легкого газа – водорода даже при современном темпе дегазации без учета того, что этот темп все время уменьшался, сопоставима с массой Земли. Это возможно только в том случае, если водород и гелий были в огромном количестве загнаны в ядро первичной Земли и растворены в нем под давлением колоссальной атмосферы. На это же указывает и то, что атмосфера Земли не увеличивается со временем, как должно быть по концепции Шмидта и его современных последователей В.П. Трубицина и А.В. Витязева, а уменьшается.

В настоящее время распространена кометная гипотеза происхождения планет А. А. Маркушевича (1992). В газопылевой туманности, имеющей вид дискообразного вращающегося облака и состоящей из мелких пылевидных железосиликатных частиц и газов – воды и водорода, при понижении температуры газы намерзали на пылинки, увеличивая их размер. Возникал состав, свойственный составу комет. Частицы сталкивались между собой, большие по объему концентрировались в центре туманности (на месте современного Солнца), а меньшие оттеснялись на периферию, дав начало планетам. Шло укрупнение и разрастание образующихся тел – астероидов, комет, планет. Центральная масса при своей концентрации способствовала выделению теплоты, и ее оказалось достаточно для развития термоядерных реакций горения водорода и гелия. При образовании планет происходила аккреция (стяжение кометной массы), выделялась теплота, которая разогревала центр сгустка до расплавленного состояния и расслаивала водородную оболочку и железосиликатное ядро. Позже оно расслоилось на железоникелевое ядро и силикатную оболочку, которая не позволяла рассеиваться теплоте в космическое пространство. Так планета приобрела почти сферическую форму.

Академик В.Г. Фесенков, один из основоположников астрофизики, считал, что образование планет связано с переходом от одного типа ядерных реакций в глубинах Солнца к другому. Условия равновесия требовали выброса массы Солнца, и этот выброс соответствовал расчетам английского астронома и математика Дж. Дарвина (сына Ч. Дарвина) и русского ученого математика и механика А.М. Ляпунова. Они независимо рассчитали фигуры равновесия вращающейся жидкой несжимаемой массы. Согласно О. Струве, быстро вра-

щающиеся звезды могут выбрасывать вещество в плоскости своих экваторов. В результате этого образуются газовые кольца и оболочки, а звезда теряет массу и момент количества движения. Гипотеза Фесенкова связала жизнь в Солнечной системе в единое целое и избавила космогонию планет от внешних случайных факторов.

Шведский астрофизик Х. Альвен (1908 – 1995) создал концепцию «вмороженных» в плазму магнитных полей и показал, что момент количества движения Солнца мог быть значительно уменьшен в результате передачи части его через магнитное поле Солнца окружающей протопланетной туманности. Электромагнитная гипотеза Альвена исходит из предположения, что некогда Солнце обладало очень сильным электромагнитным полем. Туманность, окружавшая светило, состояла из нейтральных атомов. Под действием излучений и столкновений атомы ионизировались. Ионы попадали в ловушки из магнитных силовых линий и увлекались вслед за вращающимся светилом. Постепенно Солнце теряло свой вращательный момент, передавая его газовому облаку.

Слабость предложенной гипотезы заключалась в том, что атомы наиболее легких элементов должны были ионизироваться ближе к Солнцу, атомы тяжелых элементов – дальше. Значит, ближайšie к Солнцу планеты должны были бы состоять из наилегчайших элементов – водорода и гелия, а более отдаленные – из железа и никеля. Сегодня наблюдения говорят об обратном.

Чтобы преодолеть эту трудность, английский астроном Ф. Хойл (1915 – 2001) предложил новый вариант гипотезы. Солнце зародилось в недрах туманности. Оно быстро вращалось, и туманность становилась все более плоской, превращаясь в диск. Постепенно диск начал тоже разгоняться, а Солнце тормозилось. Момент количества движения переходил к диску. Затем в нем образовались планеты. Если предположить, что первоначальная туманность уже обладала магнитным полем, то вполне могло произойти перераспределение углового момента.

В 1961 г. Ф. Хойл совместно с американским исследователем У. Фаулером на основании известных к тому времени данных астрофизики и ядерной физики сделали вывод, что последний космический ядерный синтез, повлиявший на состав протосолнечного вещества, мог произойти около 4,7 млрд. лет назад. С определенной условностью этот момент и принимается ныне как предполагаемое время образования Земли.

Начавшее сжиматься массивное протосолнце, участвующее в общем вращении Галактики, не могло сжаться до высокой плотности вещества, поскольку момент вращения облака был слишком велик. Поэтому оно должно было распасться на отдельные фрагменты. В этом случае часть общего момента вращения облака переходит в орбитальные моменты движения фрагментов.

Процесс последовательной фрагментации весьма сложен. Однако эволюцию изолированного фрагмента с массой порядка массы Солнца, обладающего не слишком большим моментом вращения, можно проследить достаточно подробно. Расчеты показывают, что если бы изначально момент вращения протосолнечной системы был больше наблюдаемого на опыте, вместо протосолнца могло бы возникнуть неустойчивое кольцо, которое далее разбилось на мелкие фрагменты. Таким путем формируются кратные звездные системы. Если же момент вращения исходной системы был много меньше наблюдаемого, то было бы более вероятно образование одиночной звезды (без планет).

Таким образом, образование Солнечной системы происходило около сжимающейся и медленно вращающейся протозвезды. Указанные условия способствовали образованию сплющенного газопылевого диска, причем большая часть газа, входящего во вращающуюся оболочку, под воздействием тяготения должна была падать на протозвезду. В конечном итоге в экваториальной области сжимающейся протозвезды возникла область с интенсивным перераспределением момента вращения системы. За счет турбулентности и других эффектов все новые порции вещества с избыточным моментом вращения выносились наружу, образуя вращающийся газопылевой диск.

За миллион лет такой диск вырос до размеров современной Солнечной системы. При этом он приобрел массу, равную 0,01 массы центрального светила, но зато в нем сосредоточилось почти 99% момента вращения исходной системы. За тот же период времени, потеряв почти весь момент вращения, большая часть массы протозвезды сжалась благодаря тяготению. Это привело к возникновению термоядерной реакции превращения водорода в гелий, создающей внутреннее давление, препятствующее дальнейшему сжатию. Определенную роль в эволюции газопылевого диска могли сыграть вспышки сверхновых звезд, которые обогащали состав диска тяжелыми химическими элементами. Порождаемые ими интенсивные потоки ней-

тронов привели к тому, что изотопный состав вещества диска стал отличен от среднего изотопного состава межзвездной среды.

Компьютерное моделирование позволяет выделить несколько характерных этапов формирования Солнечной системы (Рис.9). На первой (1) фазе баланс между гравитацией, давлением и вращением вещества приводит к образованию сначала толстого, а затем все более уплощающегося диска. Далее в диске происходит фрагментация вещества на сгустки пыли (2-3). Спустя примерно миллион лет пылевые сгустки слипаются в компактные тела астероидных размеров с близким к пылевому физико-химическим составом (4). После этого примерно еще 100 млн. лет рой астероидов испытывает интенсивное перемешивание, сопровождающееся дроблением более крупных объектов и слипанием мелких. На этой фазе (5), формируются зародыши планет земной группы – Меркурия, Венеры, Марса и Земли. После этого, примерно еще за 200 млн. лет (6) сформировались планеты группы Юпитера, аккрецировав на себя газ, не вошедший в менее массивные планеты земной группы. И, наконец, еще через 1 млрд. лет образуются самые удаленные от Солнца планеты – Нептун и Плутон, завершающие процесс формирования солнечной системы как целого.

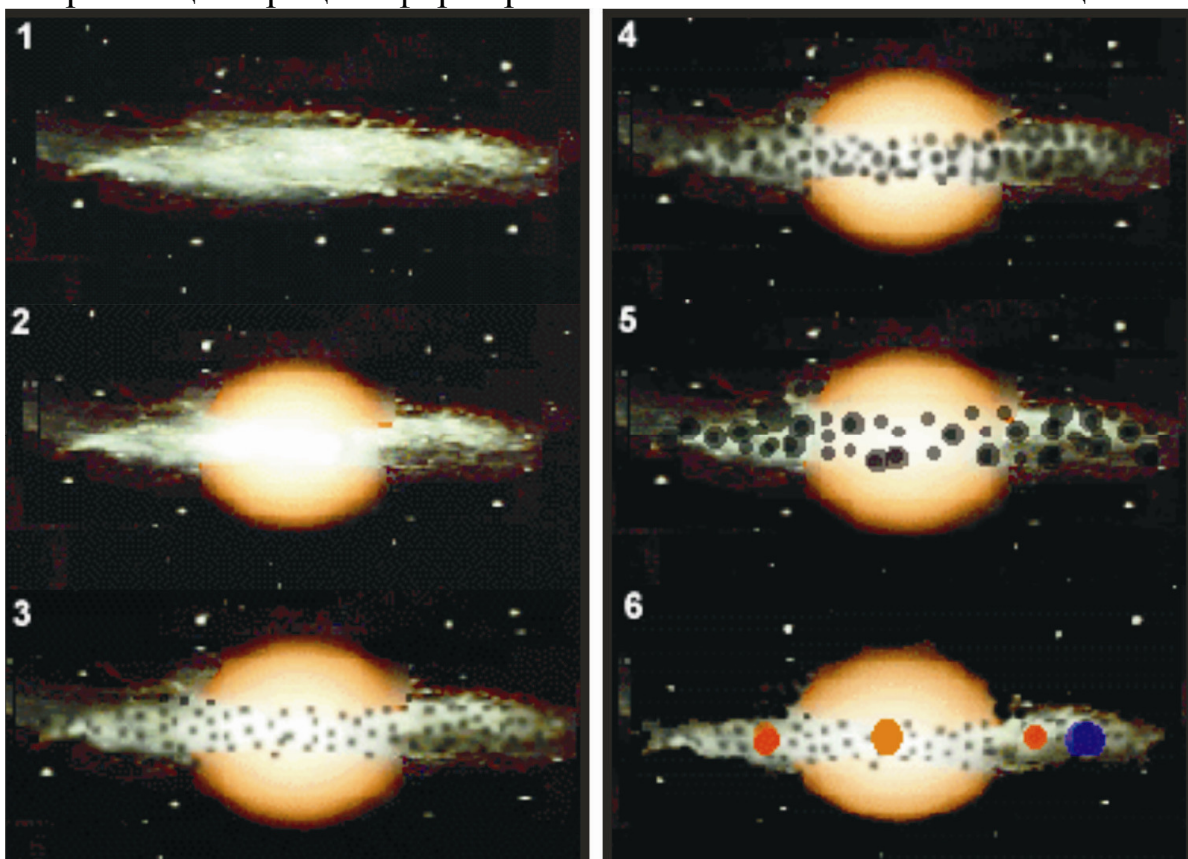


Рис.9. [[http://www.home-edu.ru/user/f/00000895/7\\_9/evol\\_ss.htm](http://www.home-edu.ru/user/f/00000895/7_9/evol_ss.htm)]

Из этого сценария становится ясно, что астероиды и кометы – это остатки роя протопланетных тел, причем астероиды – это каменные образования внутренней околосолнечной зоны, породившей планеты земной группы, а кометы – это каменно-ледяные образования, генетически связанные с зоной планет-гигантов. Но наиболее примечательно, что в процессе формирования планет группы Юпитера, планеты-гиганты Юпитер и Сатурн своим гравитационным полем выбрасывали малые протопланетные сгустки на дальнюю периферию Солнечной системы. Таким образом, Солнечная система оказалась окружена роем каменно-ледяных тел, простирающимся на расстояния от 20000 до 200000 а.е.

В 1950 году выдающийся голландский астроном Ян Оорт, анализируя орбиты движения 19 долгопериодических комет, высказал предположение о возможности существования кометного пояса на периферии Солнечной системы. За прошедшие почти 50 лет список известных комет увеличился практически на порядок, а их траектории прекрасно согласуются с представлениями о существовании кометного пояса. В настоящее время этот пояс называют «облаком Оорта».

## 1.2. Планеты земной группы

В центре Солнечной системы находится наша дневная звезда – Солнце. Вокруг него на различных расстояниях обращаются многочисленные тела различных размеров, начиная с больших планет *Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун*, и заканчивая множеством малых планет и космических метеоритных тел и частиц. Планеты (от древнегреческого *aster planetes* – блуждающая звезда) – это имеющие шарообразную форму достаточно массивные темные стационарные тела, движущиеся в гравитационном поле Солнца и светящиеся отраженным светом. Видны планеты только потому, что отражают солнечный свет, а этот отраженный свет нам кажется ярким из-за близкой расположенности к Земле.

С глубокой древности в Солнечной системе было известно пять планет: Меркурий, Венера, Марс, Юпитер и Сатурн, видимые невооруженным глазом. В начале XVII в. астрономы окончательно доказали, что Земля – равноправный представитель планет, и их «стало» шесть. В 1781 г. случайно был открыт Уран, а в 1846 г. был теоретически предсказан и сразу же обнаружен на небе Нептун – восьмая

и, по-видимому, последняя крупная планета Солнечной системы (Рис.10).



Рис.10

Орбиты планет лежат вблизи некоторой средней плоскости – плоскости эклиптики. Важно, что в окрестности больших планет, на близких к ним орбитах нет других тел, сравнимых с ними по массе. До 2006 г. к числу больших планет относили также Плутон. Плутон, открытый в 1930г., считался самой далекой планетой от Солнца. Он удален от Солнца в среднем на расстояние 39,5 а.е. Однако из-за эллиптичности орбиты иногда он бывает ближе к Солнцу и Земле, чем Нептун.

Открытие у Плутона спутника позволило определить массу этой планеты, которая оказалась неожиданно малой – значительно меньшей, чем у любой другой планеты и примерно в 6 раз меньше, чем у Луны. В конце XX и начале нашего века, за орбитой Нептуна было открыто много мелких тел, самые крупные из которых оказались сопоставимыми с Плутоном по размеру и массе. Поэтому было принято отнести Плутон и несколько других тел сходного размера в отдельную категорию *карликовых планет*.

Помимо больших планет и их спутников, в состав Солнечной системы входят сотни тысяч *малых тел* – *астероидов и комет*. Астероиды – тела, имеющие размеры от тысячи километров до нескольких сотен метров. Многие из них наблюдаются между орбитами Марса и Юпитера и образуют так называемый *главный пояс астероидов*. Более чем в десять раз дальше от Солнца, за орбитой Нептуна, также обнаружено множество астероидов, получивших общее название *транснептуновых объектов*. Наиболее близкие из них образуют второй (после главного), но более широкий пояс астероидов, называемый поясом Койпера. Он включает несколько крупных и очень много мелких ледяных тел, причем некоторые из них имеют сильно вытянутые орбиты, уходящие от Солнца на тысячи астрономических единиц.



Крупнейшие из транснептуновых объектов по своим размерам соизмеримы с Плутоном, который формально также можно отнести к этому типу объектов.

Твердые ледяные тела, окруженные газовой оболочкой, относят к *кометам*. Их также можно наблюдать с больших расстояний. Кроме того, вокруг Солнца обращается множество более мелких тел: камней, ледяных глыб и частиц различных размеров. Их называют *метеоритным веществом* или *метеороидами*, но из-за небольшого размера эти тела можно наблюдать только тогда, когда они приближаются к Земле.

Таким образом, Солнечная система содержит объекты различных типов. При этом она характеризуется рядом важных свойств и закономерностей, которые отражают условия ее формирования и эволюции. Перечислим самые главные из них.

1. Подавляющая часть полной массы Солнечной системы принадлежит Солнцу, т. е. центральному телу. На долю планет и остальных тел приходится чуть более 0,1%. Однако при этом суммарный момент импульса планет примерно в 50 раз больше, чем у Солнца. Это может говорить в пользу того, что планеты не были частью Солнца, а возникли из вещества с более высоким удельным моментом импульса.

2. Все планеты обращаются вокруг Солнца в одну сторону, причем направление их осевого вращения, как правило, совпадает с направлением движения по орбите. Исключение составляют Венера, Уран, а из планет-карликов – Плутон, которые вращаются в противоположную сторону, причем оси вращения Урана и Плутона так сильно наклонены, что лежат почти в плоскостях своих орбит.

3. Орбиты планет, в том числе карликовых, крупных и мелких астероидов в большинстве случаев лежат вблизи плоскости эклиптики. Их совокупность образует как бы гигантский вращающийся диск из отдельных тел вокруг Солнца с радиусом в десятки а.е.

4. По размерам, массе и общему строению большие планеты делятся на две группы: на планеты типа Земли (или планеты земной группы), расположенные внутри главного пояса астероидов, и планеты-гиганты (вне этого пояса). Планеты типа Земли значительно меньше гигантов по массе и размерам. Они обладают большей средней плотностью вещества, сравнительно медленным вращением и малым числом спутников. Планеты-гиганты в десятки и сотни раз массивнее планет земной группы. Они окружены сравнительно плот-

ными протяженными атмосферами. В основном планеты-гиганты состоят из водорода и гелия; доля всех других элементов в них значительно меньше, чем у планет земной группы.

Важнейшим параметром, определяющим состав космических тел (планет, их спутников, астероидов, комет и др.), служит их средняя плотность или масса. Ее значение позволяет определить тип химического состава небесного тела – «каменный» (силикаты, металлы), «ледяной» (вода, аммиак, метан) или «газовый» (водород, гелий). Хотя поверхности космических тел нередко поразительно похожи, их внутренний состав может быть совершенно различен. Средняя плотность планет значительно отличается: самая высокая у Меркурия и самая низкая у Сатурна. Планеты земной группы характеризуются сравнительно малой массой и высокой средней плотностью. Их атмосферы не содержат водорода, легкого газа, который уже успел улечься в космическое пространство, зато содержат сравнительно тяжелые газы – кислород, углекислый газ, азот и др.

Планеты-гиганты имеют большую массу и сравнительно невысокую плотность и обладают мощными атмосферами, состоящими преимущественно из водорода и гелия. Кроме того, все они окружены кольцами из частиц. Основные характеристики планет Солнечной системы представлены в таблице 1.

*Таблица 1*

Планета	Среднее расстояние от Солнца, а.е.	Период обращения вокруг Солнца, годы	Радиус, км	Масса, в массах Земли	Средняя плотность, г/см <sup>3</sup>	Число спутников
Меркурий	0,387	0,241	2439	0,055	5,4	-
Венера	0,723	0,615	6051	0,815	5,2	-
Земля	1	1	6378	1	5,5	1
Марс	1,523	1,881	3393	0,108	3,95	2
Юпитер	5,202	11,86	71400	318	1,84	28
Сатурн	9,539	29,458	60400	95,1	0,7	30
Уран	19,182	84,014	24300	14,5	1,58	20
Нептун	30,058	164,793	25050	17,2	2,3	8

Характеристики твердых оболочек планет земной группы относительно хорошо известны лишь для Земли. Модели внутреннего строения других планет земной группы строятся главным образом на основании данных о свойствах вещества земных недр. Как и у Земли, в твердых оболочках планет выделяют: кору – самую внешнюю тонкую твердую оболочку; мантию и ядро – наиболее плотную часть



планетных недр. Ядро Земли, состоящее, скорее всего, из железа, подразделяется на внешнее (жидкое) и внутреннее (твердое); температура в центре Земли оценивается в 4000-5000 К. Жидкое ядро, вероятно, есть также у Меркурия и Венеры; у Марса его, по-видимому, нет.

Наиболее распространены в твердой оболочке Земли железо (34,6%), кислород (29,5%), кремний (15,2%) и магний (12,7%). Таким образом, планеты земной группы резко отличаются по химическому составу от Солнца и совершенно не соответствуют средней космической распространенности элементов – очень мало водорода, инертных газов, включая гелий.

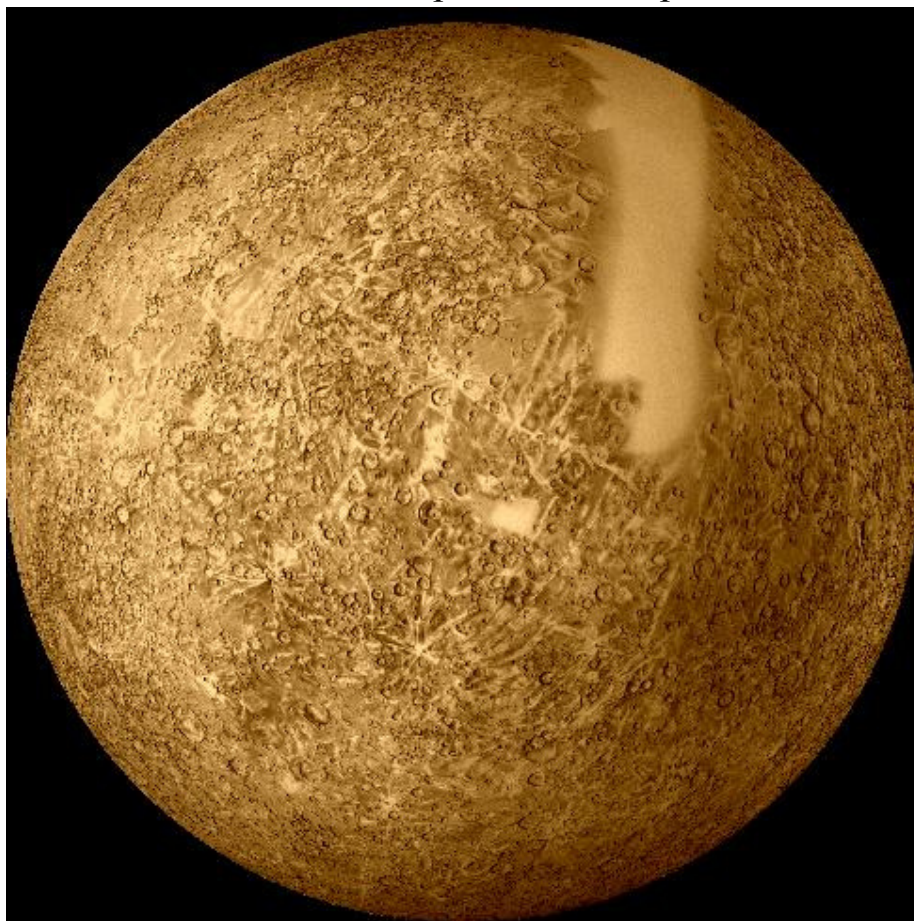
Группа более удаленных от Солнца планет-гигантов, включающая Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун, совершенно не похожа на группу планет земного типа. На их долю приходится 99,5% всей массы нашей планетной системы. Например, масса Юпитера в 318 раз превосходит массу Земли. Сатурн превосходит Землю по массе в 95 раз. Почти вся кинетическая энергия вращения и практически весь момент импульса Солнечной системы приходится на планеты-гиганты. Средняя плотность вещества планет-гигантов удивительно низка: от 0,7 г/см<sup>3</sup> у Сатурна до 1,6 г/см<sup>3</sup> у Нептуна. Самое любопытное, что у них нет твердой поверхности в привычном для нас смысле. Они состоят в основном из водорода и гелия в такой же пропорции, как и у Солнца. Однако в недрах Урана и Нептуна, по-видимому, больше тяжелых элементов. Видимая поверхность планет-гигантов – не что иное, как облачный покров мощной атмосферы, окружающей океан жидкого молекулярного водорода.

Климат планеты определяется ее расстоянием от Солнца, углом наклона экватора планеты к плоскости ее орбиты (смена времен года, весьма заметная на Земле и на Марсе и практически отсутствующая на Венере и Юпитере), наличием (или отсутствием) атмосферы, ее составом, наличием у планеты собственных источников тепла и др. Солнечное излучение, падающее на планету, частично отражается в космическое пространство, а частично поглощается планетой и нагревает ее поверхность. Если на планете есть атмосфера, то создаваемый ею «парниковый эффект» способствует увеличению температуры поверхности и сглаживанию суточных колебаний температуры.

Кроме того, движение атмосферных масс сглаживает разность температур между экватором и полюсом планеты. Даже небольшое изменение этих факторов может существенно влиять на климат, значительно повышая или понижая температуру на планете. Рассмотрим более подробно особенности планет земной группы.

### **Меркурий.**

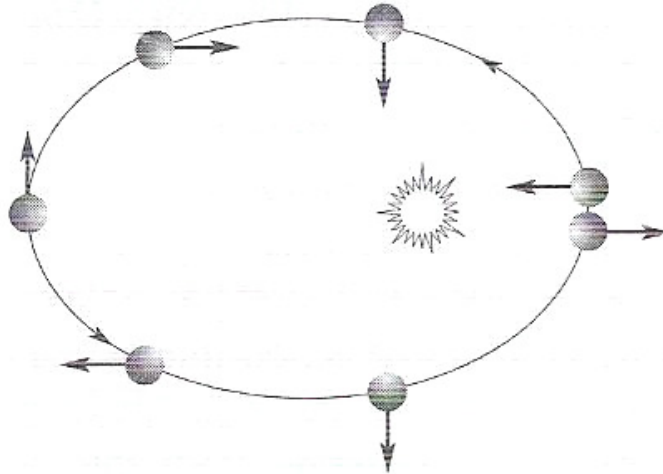
Ближайшая к Солнцу планета – Меркурий. Планета названа в честь древнеримского бога Меркурия, который считался глашатаем Зевса, вестником богов, а также покровителем торговли (Рис.11).



*Рис.11 [http://www.astrogalaxy.ru/foto002/Mercur.jpg]*

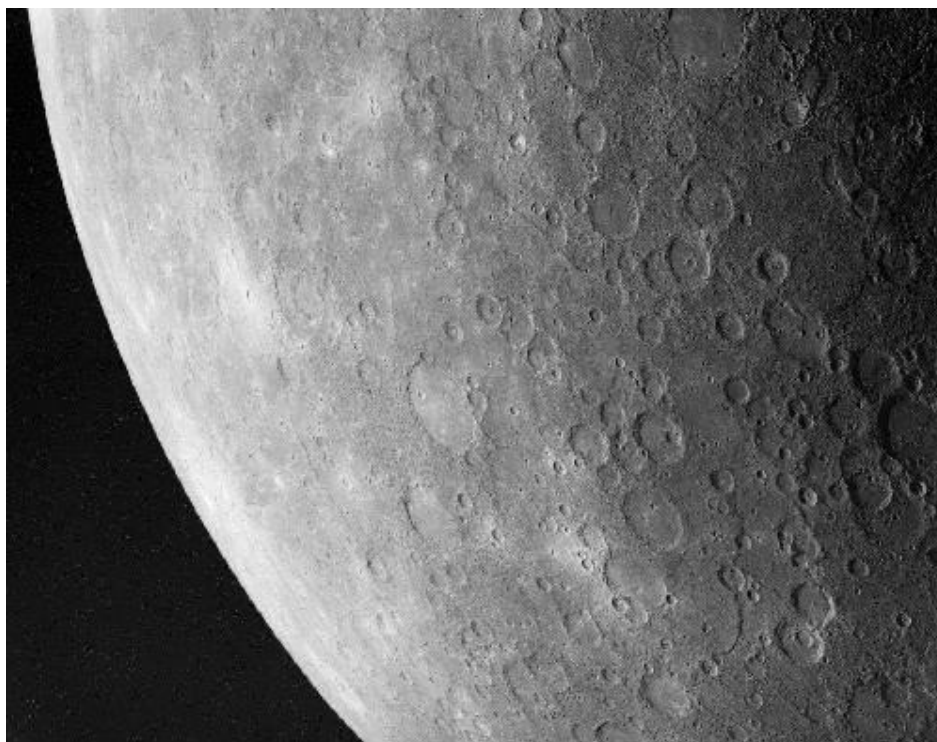
Меркурий находится на среднем расстоянии 58 млн. км, или 0,39 а.е. от Солнца, яркий свет которого мешает наблюдать эту планету с Земли. Долгое время считалось, что Меркурий вращается вокруг своей оси синхронно с движением вокруг Солнца и поэтому обращен к нему всегда одним полушарием, как Луна к Земле. Однако в 1965 г. с помощью радиолокации было установлено, что период вращения этой планеты составляет только 58,6 суток, то есть за 2/3 сво-

его года он завершает полный оборот вокруг своей оси относительно далеких звезд. Сложение осевого и орбитального движений Меркурия приводит к тому, что солнечные сутки продолжаются на этой планете 176 земных суток (меркурианских года). На рисунке 12 представлена схема орбитального и суточного движений Меркурия.



*Рис.12*

Долгое время Меркурий был малоизученной планетой. С Земли практически невозможно наблюдать какие-либо детали на поверхности этой планеты. Подробные телевизионные изображения поверхности Меркурия были получены американской космической станцией «Маринер-10» в 1974-1975 гг. Он трижды сближался с Меркурием и передавал телевизионные изображения освещенных участков его поверхности. В общей сложности было снято 45% поверхности планеты, в основном – западное полушарие. Были также уточнены радиус планеты (2440км) и ее масса (5,5% массы Земли). Самые лучшие снимки содержат детали размером до 100 м (Рис.13).



*Рис.13. [[http://www.aptr.ru/photo/cosmos/cosmos\\_8.html](http://www.aptr.ru/photo/cosmos/cosmos_8.html)]*

Поверхность планеты оказалась похожей на поверхность Луны, хотя там нет таких высоких гор, как на спутнике Земли. На ней также имеются следы древней космической бомбардировки – кратеры различных размеров, самые крупные из которых достигают 300 км. Согласно решению Международного астрономического союза, кратеры на Меркурии называют в честь деятелей культуры: писателей, поэтов, художников, скульпторов, композиторов. На планете имеются следы излияния лавы и уступы, названные эскарпами. По-видимому, интенсивная метеоритная бомбардировка является следствием таких излияний.

У Меркурия обнаружена чрезвычайно разреженная гелиевая атмосфера, создаваемая «солнечным ветром», обдувающим планету. Давление такой атмосферы у поверхности в 500 млрд. раз меньше, чем давление воздуха у поверхности Земли. Кроме гелия, выявлено совсем небольшое количество водорода, следы аргона и неона. «Маринер-10» обнаружил у Меркурия слабое магнитное поле, более чем в 100 раз слабее, чем земное. Скорее всего, это является следствием содержания в Меркурии жидкого металлического ядра, движение вещества в котором и создает магнитное поле.

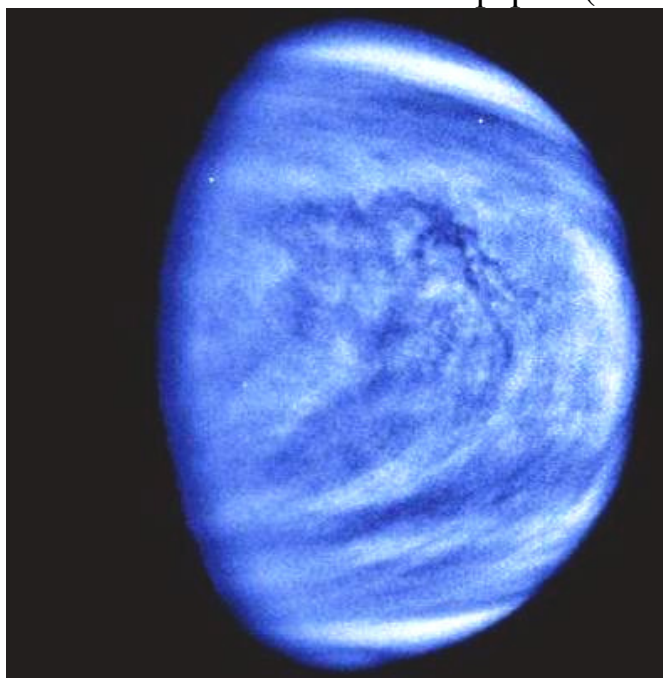
Ускорение свободного падения на Меркурии составляет  $3,68 \text{ м/с}^2$ . Средняя плотность у Меркурия почти такая же, как у Земли, следовательно, и у Меркурия должно быть железное ядро, занимаю-

щее, по расчетам, примерно половину объема планеты. Над ядром должна быть мантия, а над ней – силикатная оболочка.

Меркурий получает в 6 раз больше солнечного света на единицу площади, чем Земля. При этом большая часть солнечной энергии поглощается, поскольку поверхность у Меркурия темная, отражающая лишь 12-18% падающего света. В перигелии температура освещенной поверхности достигает 430°C, а в афелии опускается до 290°C. На ночной стороне температура поверхности снижается до –170°C. Но эти сильные перепады температуры не проникают глубоко: поверхностный слой планеты (реголит) сильно измельчен и служит прекрасной теплоизоляцией, так что на глубине нескольких десятков сантиметров от поверхности температура всегда держится постоянной – около 80°C.

### **Венера.**

Вторая от Солнца планета названа в честь римской богини любви и красоты Венеры. Венера – самый яркий (не считая Луны) объект на вечернем и утреннем небосклоне. Ее можно увидеть и днем, на фоне голубого неба благодаря своей близости к Земле и к Солнцу и потому освещается им ярче; кроме того, она очень хорошо отражает солнечный свет из-за очень плотной атмосферой (Рис.14).



*Рис.14 [http://www.aptr.ru/photo/cosmos/cosmos\_18.html]*

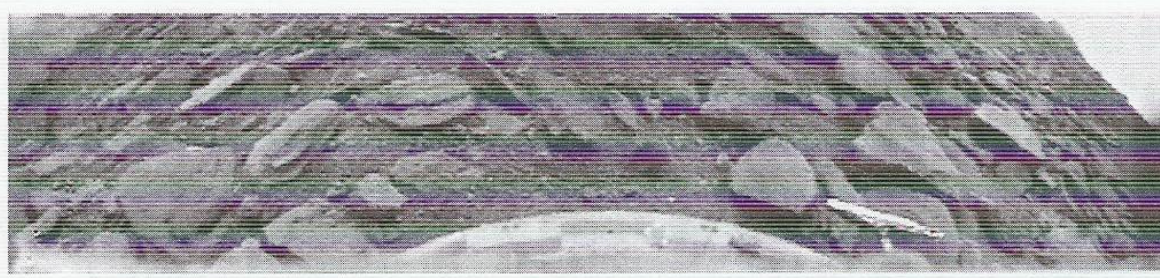
Радиус Венеры – 6052 км, масса составляет 81% массы Земли. Венера обращается вокруг Солнца в ту же сторону, что и другие планеты, совершая полный оборот за 225 суток. Период ее вращения во-

круг оси (243 суток) удалось определить лишь в начале 1960-х гг., когда для измерения скоростей вращения планет стали применять методы радиолокации. Таким образом, суточное вращение Венеры – самое медленное среди всех планет. К тому же оно происходит в обратном направлении: в отличие от большинства планет, Венера вращается вокруг оси в сторону, противоположную орбитальному движению. Если посмотреть формально, то это не уникальное свойство Венеры. Например, Уран и Плутон тоже вращаются в обратном направлении. Но они вращаются практически «лежа на боку», а ось Венеры почти перпендикулярна орбитальной плоскости, так что она единственная вращается в обратном направлении. Именно поэтому солнечные сутки на Венере короче времени ее оборота вокруг оси и составляют 117 земных суток (у других планет солнечные сутки длиннее периода вращения). А год на Венере лишь вдвое продолжительнее солнечных суток.

Увидеть и подвергнуть исследованиям поверхность Венеры оказалось возможным только с помощью радиолокации (радиоволны свободно проходят сквозь атмосферу планеты), а также используя спускаемые космические аппараты. Венера исторически была первой планетой, с поверхности которой спускаемые аппараты передали на Землю телевизионные изображения («Венера-9» и «Венера-10», 1975 г.). На рисунке 15 изображена панорама поверхности Венеры в месте посадки аппарата «Венера-9» (1982 г.).

Подробные карты Венеры удалось получить при помощи радиолокации как с Земли, так и с борта искусственных спутников Венеры (советская станция «Венера-16» и американские «Пионер-Венера-1» и «Магеллан»). Поверхность планеты носит следы активной вулканической деятельности. На Венере найдено несколько горных областей, причем самый большой горный район – земля Иштар – по площади вдвое превышает Тибет. В центре его на высоту 11 км поднимается гигантский вулканический конус, принадлежащий горам Максвелла. Имеются на планете и кольцевые кратеры, по-видимому метеоритного происхождения, а также образования, характерные только для Венеры, например куполообразные холмы, паутинные сети лавовых потоков и тектонические трещины. Мелких кратеров, каких очень много на Луне и Меркурии, на Венере нет. Обширные равнины с многочисленными следами излияния лавы – отличительная черта поверхности Венеры.





*Рис.15. Полуциркулярная панорама Венеры, полученная аппаратом «Венера-9».*

В результате проведения экспериментов на спускаемых аппаратах был определен химический анализ венерианского грунта. Оказалось, что вещество Венеры сопоставимо с земными базальтами, встречающимися в глубоководных впадинах океанов. В состав пород входят окислы кремния, алюминия, магния, железа, кальция и других элементов.

Гравитационные измерения, проведенные вдоль траектории «Магеллана», показали, что кора Венеры прочнее и толще, чем считалось ранее. У Венеры есть железное ядро радиусом 3000 км и мантия из расплавленных пород, занимающая большую часть объема планеты. Есть некоторые свидетельства складчатости и увеличения в объеме поверхности Венеры, а также признаки недавних вулканических потоков. Однако на Венере не отмечено проявлений тектоники плит, которые имеются на Земле.

Атмосфера Венеры оказалась очень плотной: у поверхности ее плотность всего лишь в 10 раз меньше, чем у воды. Состоит она на 96,5% из углекислого газа и почти на 3,5% – из азота. Другие газы: водяной пар, кислород, окись и двуокись серы, аргон, неон, гелий и криптон – в сумме составляют менее 0,1%. Туманная дымка в атмосфере Венеры простирается вверх до высоты 48-49 км. Далее до высоты 70 км идет облачный слой, содержащий капельки концентрированной серной кислоты, а в самых верхних слоях присутствуют также соляная и плавиковая кислоты. Облака Венеры отражают 77% падающего на них солнечного света. Вращение облачного слоя как целого происходит в ту же сторону, что и самой планеты, но значительно быстрее: полный оборот атмосфера на уровне облаков совершает за 4-5 земных суток. Это явление называют суперротацией. Скорость ветра на высотах около 60 км достигает 100 м/с, но быстро уменьшается с уменьшением высоты (до 1 м/с).

Мощная атмосфера Венеры частично пропускает к поверхности лишь около 23% солнечного излучения. Это излучение нагревает поверхность планеты, однако ее тепловое (инфракрасное) излучение проходит сквозь атмосферу обратно в космос с большим трудом. И лишь когда поверхность нагрета примерно до 460-470°C, уходящий поток энергии оказывается равным приходящему. Именно по причине парникового эффекта у поверхности Венеры сохраняется высокая температура независимо от широты местности. Но в горах, над которыми толщина атмосферы меньше, температура ниже на несколько десятков градусов.

### **Марс.**

Четвертая от Солнца планета, названная именем бога войны Марса (из-за красного цвета), издавна привлекала внимание астрономов и простых наблюдателей (Рис.16). Однако наблюдения в телескоп не позволяли рассмотреть отдельные детали рельефа, и лишь темные и светлые образования поперечником в несколько сотен километров наблюдались достаточно хорошо. Так, в телескоп на Марсе видны темные и светлые участки поверхности и белые полярные области – северная и южная *полярные шапки*, состоящие из замерзшей углекислоты и обычного водяного льда. Более мелкие детали поверхности стали доступны изучению только в результате полетов АМС к планете.



Рис.16 [[http://www.aptr.ru/photo/cosmos/mars\\_1.html](http://www.aptr.ru/photo/cosmos/mars_1.html)]



Полярные шапки Марса многослойны. Нижний, основной слой, имеющий толщину несколько километров, образован обычным водяным льдом, смешанным с пылью; этот слой сохраняется и в летний период, образуя постоянные шапки. А наблюдаемые сезонные изменения полярных шапок происходят за счет верхнего слоя толщиной менее 1 м, состоящего из твердой углекислоты, так называемого «сухого льда». Покрытая этим слоем площадь быстро растёт в зимний период. Весной с повышением температуры верхний слой испаряется, и остается лишь постоянная шапка. «Волна потемнения» участков поверхности, наблюдаемая со сменой сезонов, объясняется изменением направления ветров, постоянно дующих от одного полюса к другому. Ветер уносит верхний слой сыпучего материала – светлую пыль, обнажая участки более темных пород. Сильные перепады температуры на планете иногда приводят к возникновению ураганных ветров и охватывающих всю планету пылевых бурь, при которых пыль и песок поднимаются на десятки километров над поверхностью. В атмосфере часто возникают высокие вихревые столбы – торнадо. Длительность пылевых бурь может достигать 50-100 суток.

Марс находится от Солнца в 1,5 раза дальше, чем Земля. Один оборот по орбите занимает у него 687 земных суток. Орбита обладает заметным эксцентриситетом (0,09), поэтому расстояние Марса от Солнца меняется от 207 млн. км в перигелии до 250 млн. км в афелии. Орбиты Марса и Земли лежат почти в одной плоскости: угол между ними всего  $2^\circ$ . Через каждые 780 дней Земля и Марс оказываются на минимальном расстоянии друг от друга, которое может составлять от 56 до 101 млн. км. Такие сближения планет называют *противостояниями*.

Экваториальный радиус Марса – 3394 км, на 20 км больше полярного. По массе Марс меньше Земли в 10 раз, а по площади поверхности – в 3,5 раза. Период осевого вращения Марса был определен путем наземных телескопических наблюдений за контрастными деталями поверхности: он составляет 24 часа 39 минут и 36 секунд. Ось вращения Марса отклонена на угол  $25,2^\circ$  от перпендикуляра к плоскости орбиты, поэтому на Марсе наблюдается смена времен года, но длительность сезонов почти вдвое больше, чем на Земле. Из-за вытянутости орбиты сезоны в северном и южном полушариях имеют разную продолжительность: лето в северном полушарии длится 177 марсианских суток, а в южном оно на 21 сутки короче, но при этом теплее, чем в северном.

Из-за большей отдаленности от Солнца Марс получает лишь 43% энергии, которая попадает на ту же площадь земной поверхности. Среднегодовая температура на поверхности Марса – около  $-60^{\circ}\text{C}$ . Максимальное значение температуры там не превышает нескольких градусов выше нуля, а минимальное зарегистрировано на северной полярной шапке и составляет  $-138^{\circ}\text{C}$ . В течение суток температура поверхности существенно изменяется. Например, в южном полушарии на широте  $50^{\circ}$  характерное значение температуры в середине осени меняется от  $-18^{\circ}\text{C}$  в полдень до  $-63^{\circ}\text{C}$  ночью. Однако уже на глубине 25 см под поверхностью температура практически постоянная (около  $-60^{\circ}\text{C}$ ) независимо от времени суток и сезона.

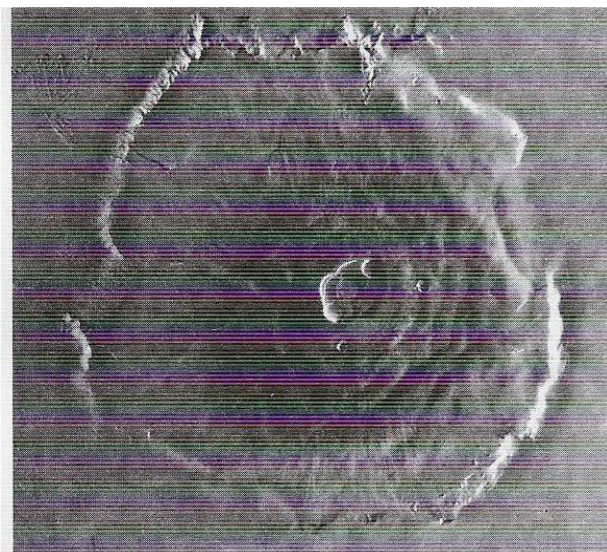
Большие изменения температуры на поверхности объясняются тем, что атмосфера Марса очень разрежена, и ночью поверхность быстро остывает, а днем быстро нагревается Солнцем. Атмосфера Марса состоит на 95% из углекислого газа. Другие ее составляющие: 2,5% азота, 1,6% аргона, менее 0,4% кислорода. Обнаружены также слабые следы метана, происхождение которого пока неясно. Среднее давление атмосферы у поверхности в 160 раз меньше давления земного воздуха на уровне моря. Атмосфера планеты сухая, в ней практически нет водяных паров.

Изучение Марса с близкого расстояния началось во второй половине XX в. с помощью целой серии советских и американских космических аппаратов. Две американские станции («Викинг-1» и «Викинг-2»), опустившиеся на Марс в 1976 г., впервые провели ряд сложных экспериментов по изучению марсианского грунта и, в частности, поиску в нем следов живых микроорганизмов. Исследования дали отрицательный результат: признаков жизни на Марсе не обнаружено.

Комплексное исследование поверхности Марса, его полярных шапок и свойств его атмосферы над равнинами и горами проведено с помощью космического аппарата «Марс Экспресс», запущенного Европейским космическим агенством (ЕКА) в 2003 г. В этом эксперименте приняли участие несколько европейских стран, включая Россию. С 2006 г. к исследованию Марса подключился КА «Разведчик Марс-орбитер», запущенный в США. На получаемых им изображениях на поверхности Марса различимы детали размером всего несколько метров.

Большая часть поверхности Марса – это сухая холодная пустыня, покрытая красноватым песком с разбросанными повсюду круп-

ными и мелкими камнями. На Марсе сохранились и многочисленные кратеры метеоритного происхождения, хотя они сильно изменены ветровой эрозией. Есть на планете и горные районы. Несколько гор очень большой высоты представляют собой потухшие вулканы. Самая большая из них – гора Олимп – имеет высоту около 25 км – втрое выше Эвереста. Это самая высокая гора во всей Солнечной системе (Рис.17).

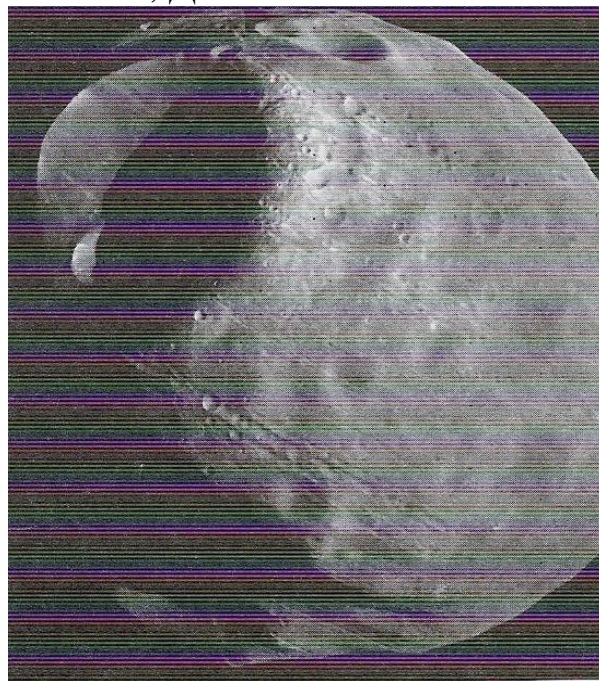


*Рис.17*

К югу от экватора находится гигантская долина глубиной до 6 км и протяженностью более 4000 км. Ее назвали Долиной Маринера. Выявлено также множество долин меньших размеров, а также борозд и трещин, похожих на русла высохших рек или системы оврагов. Возможно, миллиарды лет назад Марс обладал более мощной атмосферой и климат на нем в далеком прошлом, по-видимому, был более теплым. Тогда на Марсе могло существовать некоторое количество незамерзшей воды, а, следовательно, были озера и реки. Сейчас под поверхностью Марса в отдельных областях должен находиться слой вечной мерзлоты толщиной несколько километров. В таких районах на поверхности у кратеров видны необычные для планет земной группы застывшие потоки, по которым можно судить о наличии подповерхностного льда.

У Марса два небольших спутника – Фобос и Деймос (что по-гречески означает «страх» и «ужас»). Открыл их американский астроном А. Холл во время великого противостояния 1877 г. Они очень близки к планете, особенно Фобос, поэтому угловая скорость его обращения больше скорости суточного вращения самого Марса (Рис.18). Фобос быстро перемещается по марсианскому небу с запада

на восток. Изображения, полученные космическими аппаратами, показывают, что оба спутника представляют собой каменные глыбы неправильной формы с хорошо заметными следами ударов метеоритов. Размер Фобоса – 22-25 км, Деймос – около 13 км.

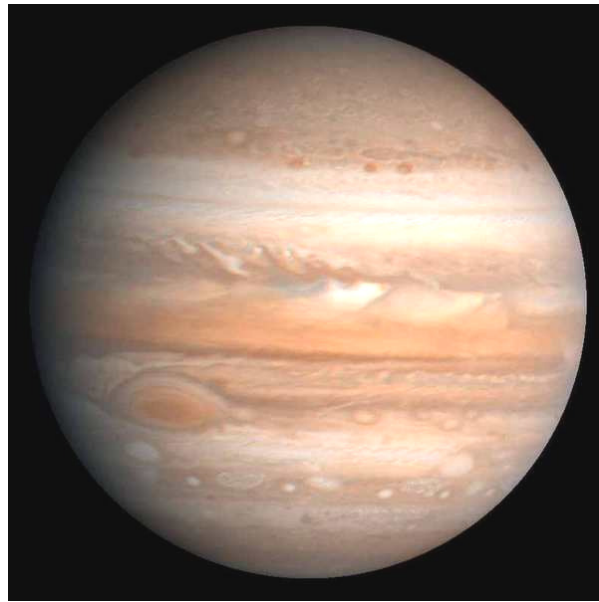


*Рис.18*

### **1.3. Планеты-гиганты**

#### **Юпитер.**

Юпитер возглавляет группу планет-гигантов. Названный в честь верховного бога античной мифологии (у древних греков – Зевс, у римлян – Юпитер), он находится в пять раз дальше от Солнца, чем Земля (Рис.19). Юпитер сильно сплюснут: его экваториальный радиус (71 492 км) на 7% больше полярного, что легко заметить при наблюдении в телескоп. Сила тяжести на экваторе планеты в 2,6 раза больше, чем на Земле. Экватор Юпитера наклонен всего на  $3^\circ$  к его орбите, поэтому на планете не бывает смены времен года. Наклон орбиты к плоскости эклиптики еще меньше – всего  $1^\circ$ . Каждые 399 суток повторяются противостояния Земли и Юпитера.



*Рис.19 [http://www.aptr.ru/photo/cosmos/cosmos\_16.html]*

Юпитер больше всех планет Солнечной системы вместе взятых, превосходящая Землю в 11,2 раза по диаметру и в 318 раз по массе. Юпитер имеет низкую среднюю плотность ( $1,33 \text{ г/см}^3$ ), поскольку почти целиком состоит из водорода и гелия. Он находится на среднем расстоянии 779 млн. км от Солнца и затрачивает на один оборот по орбите около 12 лет. Несмотря на гигантские размеры, эта планета вращается очень быстро – сутки на ней длятся менее 10 земных часов. Время обращения Юпитера вокруг Солнца составляет почти 12 лет. Твердой поверхности у Юпитера нет – это газовый гигант.

Водород и гелий – основные составляющие этой планеты: по объему их количество составляет соответственно 89% и 11%, а по массе – 80% и 20%. Юпитер обладает толстым облачным слоем, образующим систему темных поясов и светлых зон к северу и югу от экватора. Облака образуют слои коричневатых, красных и голубоватых оттенков. Периоды вращения этих облачных слоев оказались неодинаковыми: чем ближе они к экватору, тем с более коротким периодом вращаются. Так, вблизи экватора они завершают оборот вокруг оси планеты за 9 ч 50 мин, а на средних широтах – за 9 ч 55 мин. Пояса и зоны – это области нисходящих и восходящих потоков в атмосфере. Атмосферные течения, параллельные экватору, поддерживаются благодаря потокам тепла из глубины планеты, а также быстрому вращению Юпитера и энергии Солнца. Видимая поверхность зон расположена примерно на 20 км выше поясов. На границах поясов и зон наблюдаются сильные турбулентные движения газов. Водоро-



родно-гелиевая атмосфера Юпитера имеет огромную протяженность – свыше 1000 км. Под ней давление достигает таких значений, что молекулярный водород превращается в жидкость.

Измерения собственного инфракрасного излучения планеты показали, что Юпитер излучает больше тепла, чем получает от Солнца. Это может быть связано с медленным погружением к центру планеты тяжелых веществ и всплыванием более легких. Источником энергии может быть также падение на планету метеоритов. Окраска поясов объясняется наличием различных химических соединений. Ближе к полюсам планеты, на высоких широтах, облака образуют сплошное поле с коричневыми и голубоватыми пятнами поперечником до 1000 км.

В атмосфере Юпитера наблюдаются ураганные ветры, как и в земной атмосфере, в ней возникают гигантские вихри (циклоны и антициклоны). Эти структуры в атмосфере могут сохраняться в течение столетий. Хорошо известным примером является *Большое красное пятно* – красноватое вихревое образование эллиптической формы, по размерам гораздо превышающее Землю.

Юпитер обладает мощным магнитным полем, которое у поверхности примерно в 15 сильнее, чем у Земли. Оно генерируется электрическими токами в жидких недрах планеты. Захваченные этим полем быстрые заряженные частицы, летящие от Солнца, образуют мощные радиационные пояса, более обширные, чем существующие вокруг нашей планеты. В области магнитных полюсов планеты, как и на Земле, наблюдаются полярные сияния. В марте 1979 г. «Вояджер-1» сфотографировал систему слабых колец, обращающихся вокруг Юпитера на расстоянии 57000 км от облачного покрова планеты и состоящих из частиц микронных размеров, а также передал подробные изображения самой планеты и нескольких ее спутников.

На основе данных, полученных космическими зондами, и теоретических расчетов построены математические модели облачного покрова Юпитера и уточнены представления о его внутреннем строении. Согласно модели Юпитер можно представить в виде оболочек с плотностью, возрастающей по направлению к центру планеты. На дне атмосферы толщиной 1500 км, плотность которой быстро растет с глубиной, находится слой газо-жидкого водорода толщиной около 7000 км. На уровне 0,9 радиуса планеты, где давление составляет 0,7 Мбар, а температура около 6500 К, водород переходит в жидкомолекулярное состояние, а еще через 8000 км – в жидкое металличе-

ское состояние. Наряду с водородом и гелием в состав слоев входит небольшое количество тяжелых элементов. Внутреннее ядро диаметром 25000 км – металлосиликатное, включающее также воду, аммиак и метан. Температура в центре составляет более 23000 К, а давление – 50 Мбар. Следует отметить, что похожее строение имеет и Сатурн.

Вокруг Юпитера обращаются 63 известных спутника, которые можно разделить на две группы – внутреннюю и внешнюю. Первая группа включает 8 спутников, вторая – 55. Спутники внутренней группы обращаются по почти круговым орбитам, практически лежащим в плоскости экватора планеты. Четыре ближайших к планете спутника – Адрастея, Метида, Амальтея и Теба – имеют диаметры от 40 до 270 км. Они резко отличаются от следующих за ними четырех спутников Юпитера и имеющих значительно большие размеры, близкие к размеру Луны. Эти крупные спутники – Ио, Европа (Рис.20), Ганимед и Каллисто – были открыты в начале XVII в. почти одновременно Галилео Галилеем и Симоном Марием. Их принято называть галилеевыми спутниками Юпитера, хотя первые таблицы их движения составил Марий. Их можно увидеть рядом с планетой даже в хороший бинокль. Два первых по размерам близки к Луне, два последних – к Меркурию. По внешнему виду каждый из этих спутников не похож на остальные. Внешняя группа состоит из маленьких – диаметром от 1 до 170 км – спутников, движущихся по вытянутым и сильно наклоненным к экватору Юпитера орбитам. В то время как близкие к Юпитеру спутники движутся по своим орбитам в сторону вращения планеты, большинство далеких спутников движутся в обратном направлении.

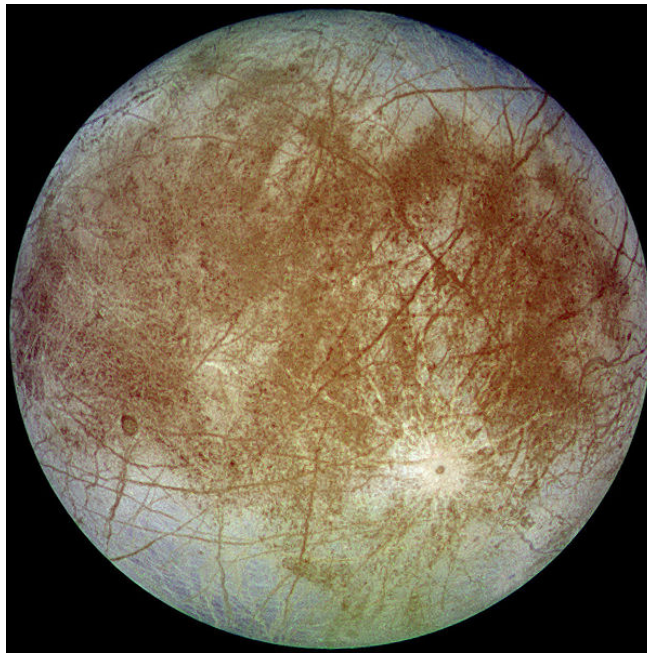


Рис.20 [<http://ru.wikipedia.org/wiki/:Europa-moon.jpg#file>]

Остановимся подробнее на некоторых особенностях галилеевых спутников.

Диаметр ближайшего к Юпитеру спутника Ио – 3640 км, средняя плотность –  $3,55 \text{ г/см}^3$ . Недра Ио разогреты из-за гравитационного влияния Юпитера и возмущений, вносимых в движение Ио ближайшими спутниками-соседями – Европой и Ганимедом. Приливные силы деформируют внешние слои Ио и разогревают их. При этом накопившаяся энергия вырывается на поверхность в виде вулканических извержений. Спектральные наблюдения обнаружили присутствие серы.

Из жерла вулканов сернистый газ и пары серы выбрасываются со скоростью около 1 км/с на высоту в сотни километров над поверхностью спутника. Хотя в районе экватора температура поверхности Ио составляет в среднем около  $-140^\circ\text{C}$ , там существуют горячие пятна размером от 75 до 250 км, в которых температура достигает  $100-300^\circ\text{C}$ . Рельеф Ио в основном равнинный, но имеется несколько гор высотой от 1 до 10 км. Атмосфера Ио сильно разрежена, но за спутником тянется газовый хвост из кислорода, паров натрия и серы – продуктов вулканических извержений.

Второй из галилеевых спутников, *Европа*, по размеру несколько меньше Луны, его диаметр 3130 км, а средняя плотность вещества – около  $3 \text{ г/см}^3$ . Поверхность испещрена сетью светлых и темных линий. Скорее всего, это трещины в ледяной коре, возникшие в результате тектонических процессов. Ширина разломов составляет от не-



скольких километров до сотен километров, а протяженность достигает тысяч километров. Оценка толщины коры колеблется от нескольких километров до десятков километров. В недрах Европы также выделяется энергия приливного взаимодействия, которая поддерживает в жидком состоянии мантию – подледный океан, возможно, даже теплый. Поэтому есть предположение о возможности существования в этом океане простейших форм жизни. Судя по средней плотности спутника, под океаном должны быть силикатные породы. Поскольку кратеров на Европе, имеющей довольно гладкую поверхность, очень мало, возраст деталей этой оранжево-коричневой поверхности оценивается в сотни тысяч и миллионы лет.

Самый крупный спутник в системе Юпитера, *Ганимед*, имеет диаметр 5268 км, средняя плотность вдвое выше, чем у воды (Рис.21). Это говорит о том, что около 50% массы спутника приходится на лед. Множество кратеров, покрывающих участки темно-коричневого цвета, свидетельствует о древнем, около 3-4 млрд. лет, возрасте этой поверхности. Более молодые участки покрыты системами параллельных борозд, сформированных более светлым материалом в процессе растяжения ледяной коры. Глубина этих борозд – несколько сотен метров, ширина – десятки километров, а протяженность может достигать до нескольких тысяч километров.

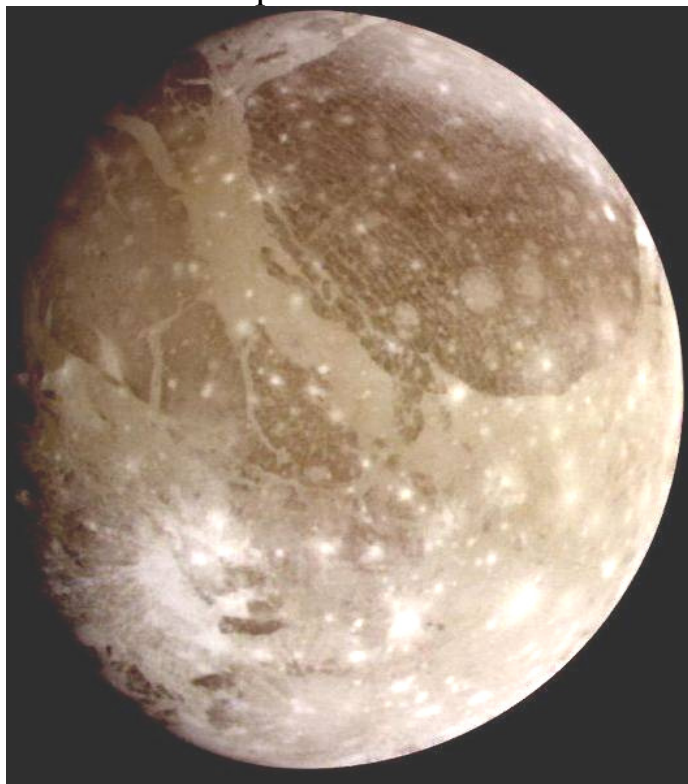


Рис.21 [[http://ru.wikipedia.org/wiki/Ganymede\\_g1\\_true.jpg](http://ru.wikipedia.org/wiki/Ganymede_g1_true.jpg)]

Диаметр *Каллисто* – 4806 км, средняя плотность спутника составляет 1,83 г/см<sup>3</sup>. Предполагают, что водяной лед составляет около 60% его массы. Толщина ледяной коры, как и у Ганимеда, оценивается десятками километров. Вся поверхность Каллисто сплошь усеяна кратерами самых разных размеров. На ней нет протяженных равнин или систем борозд, кратеры имеют слабо выраженный вал и небольшую глубину. Уникальная деталь рельефа – многокольцевая структура диаметром 2600 км, состоящая из дюжины концентрических колец. Температура поверхности на экваторе Каллисто в полдень достигает – 120 °С. У спутника обнаружено собственное магнитное поле.

### **Сатурн.**

Сатурн по своим наблюдаемым свойствам и внутреннему строению больше всего похож на Юпитер. Но эта планета имеет яркую индивидуальную особенность. Сатурн выделяется своей грандиозной системой колец (Рис.22). Впервые его следы заметил Галилей, хотя ему не удалось установить, что это действительно кольцо. Через пятьдесят лет Христиану Гюйгенсу, создавшему более совершенный телескоп, удалось увидеть, что Сатурн окружен ярким, тонким и плоским кольцом, нигде не соприкасающимся с планетой. Еще через четверть века Дж. Кассини обнаружил темную полосу, разделяющую кольцо на внешнюю и внутреннюю части. Внешнюю часть назвали кольцом **А**, внутреннюю – кольцом **В**, а разделяющую их темную полосу – делением Кассини. Позже наземными наблюдениями были выявлены кольца **С**, **В** и **Е**.

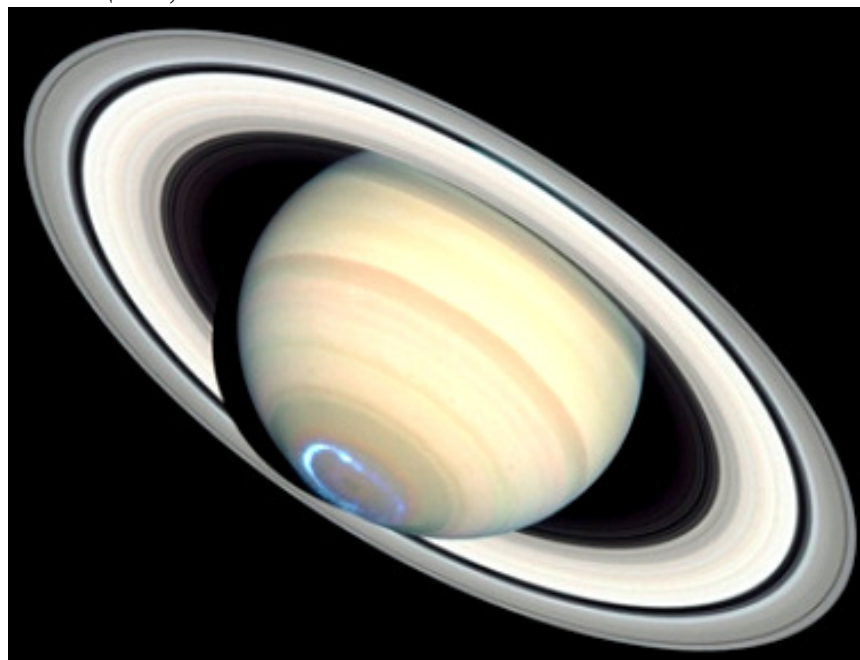


Рис.22 [[http://www.aptr.ru/photo/cosmos/saturn\\_3.html](http://www.aptr.ru/photo/cosmos/saturn_3.html)]

«Вояджер-1» в 1980 г. впервые передал на Землю четкие снимки колец Сатурна. Изображения, полученные «Вояджер-1», показали, что кольцо Сатурна разделяется на многие тысячи узких колечек, разделенных промежутками различной ширины. Структура колец во многом связана с гравитационным воздействием спутников Сатурна на частицы, составляющие кольца. Сами частицы имеют различный размер – от долей сантиметра до нескольких метров, обращающихся вокруг Сатурна со скоростью около 10 км/с в его экваториальной плоскости и хорошо отражающих свет. Именно поэтому кольцо такое яркое.

Подобно Юпитеру, Сатурн представляет собой огромный быстро вращающийся шар, состоящий преимущественно из жидкого водорода и гелия. Обращаясь вокруг Солнца на расстоянии в 10 раз дальше Земли, Сатурн совершает полный оборот по почти круговой орбите за 29,5 лет. Угол наклона орбиты к плоскости эклиптики составляет всего  $2^\circ$ , в то время как экваториальная плоскость Сатурна наклонена на  $27^\circ$  к плоскости его орбиты, поэтому планете присуща смена времен года.

Сатурн превосходит Землю по объему в 800 раз, а по массе в 95 раз. Нетрудно вычислить, что его средняя плотность ( $0,7 \text{ г/см}^3$ ) меньше плотности воды – уникально низкая для планет Солнечной системы. Экваториальный радиус Сатурна по верхней границе облачного слоя 60 270 км, а полярный радиус на несколько тысяч километров меньше. Период вращения Сатурна составляет 10 ч 40 мин. В атмосфере Сатурна содержится 94% водорода и 6% гелия (по объему).

В отличие от Юпитера, у Сатурна полосы на облачном слое доходят до очень высоких широт –  $78^\circ$ . Гигантское овальное образование размером с Землю, расположенное недалеко от северного полюса, названо *Большим коричневым пятном*. Несколько коричневых пятен меньшего размера также видны на снимках. Из-за большей, чем на Юпитере, скорости потоков эти ураганные вихри быстро затухают и перемешиваются с полосами. Скорости зональных ветров в районе экватора достигают 400-500 м/с, а на широте  $30^\circ$  – около 100 м/с.

Поток солнечной энергии, приходящийся на единицу поверхности Сатурна, в 91 раз меньше, чем у Земли, поэтому температура на границе облаков составляет  $-120^\circ\text{C}$ . Однако тепловой поток от Сатурна вдвое превышает поток энергии, получаемой им от Солнца. Источником внутреннего тепла может быть, как и у Юпитера, гравитационная дифференциация вещества: гелий медленно погружается в

недра планеты. Из-за низких температур в надоблачной атмосфере Сатурна, где пары аммиака вымораживаются, образуется плотный слой тумана, скрывающего структуру поясов и зон, поэтому у Сатурна они видны не так четко, как у Юпитера.

Магнитное поле Сатурна уникально: ось магнитного диполя совпадает с осью вращения планеты – в отличие от Земли, Меркурия и Юпитера, – поэтому магнитосфера Сатурна имеет симметричную форму. Радиационные пояса планеты также обладают правильной формой, причем в них наблюдаются пустые полости, где заряженные частицы поглощаются при взаимодействии со спутниками и кольцами. Вблизи колец концентрация заряженных частиц очень мала.

Как и Юпитер, Сатурн обладает большим количеством спутников (в настоящее время известно 56). Детальные изображения ряда спутников были получены межпланетными станциями. Самый крупный спутник Сатурна – Титан в полтора раза крупнее Луны (диаметр 5150 км) и уникален тем, что обладает плотной азотной атмосферой (Рис.23). В 2005 г. была осуществлена мягкая посадка спускаемого аппарата «Гюйгенс» на поверхность этого спутника. Были получены уникальные данные об атмосфере и свойствах поверхности.

Атмосфера Титана, имеет давление у поверхности 1,5 бар и состоит на 98,4% из азота и на 1,6% из метана. В ней обнаружено также небольшое количество этана, пропана, ацетилена, аргона, окиси и двуокиси углерода, гелия и других газов. Температура верхних слоев атмосферы Титана близка к  $-120^{\circ}\text{C}$ , а температура поверхности –  $179^{\circ}\text{C}$ . Туман в атмосфере рассеивает и отражает солнечные лучи, снижающий температуру поверхности. Поверхность Титана состоит из льда с примесью силикатных пород. Средняя плотность спутника  $1,9 \text{ г/см}^3$ . Магнитного поля у Титана нет.

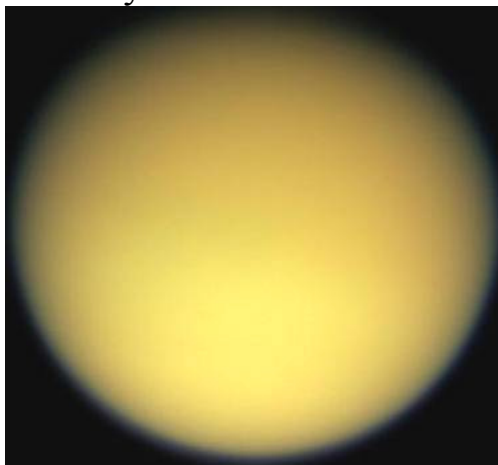


Рис.23 [[http://ru.wikipedia.org/wiki/Titan\\_Visible.jpg](http://ru.wikipedia.org/wiki/Titan_Visible.jpg)]

## Уран.

Седьмая планета – Уран (Рис.24). В отличие от более близких к Солнцу планет, эта планета невооруженным глазом не видна, и была случайно обнаружена Уильямом Гершелем в 1781 г. с помощью изготовленного им телескопа.

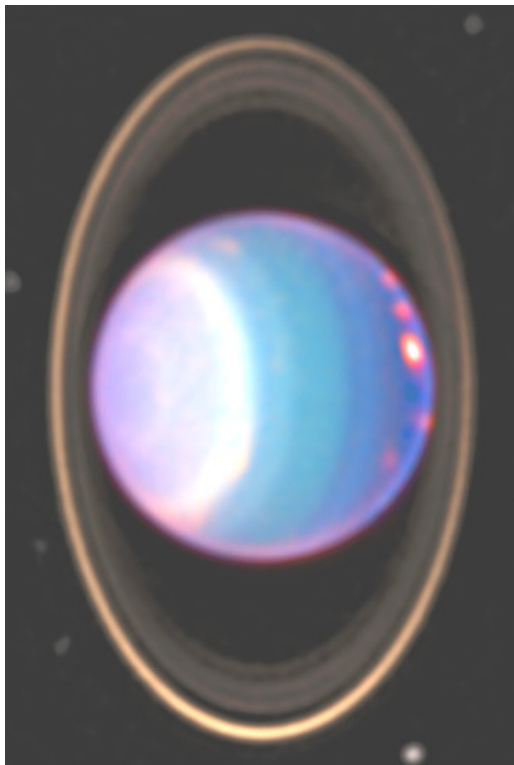


Рис.24 [[http://www.aptr.ru/photo/cosmos/cosmos\\_13.html](http://www.aptr.ru/photo/cosmos/cosmos_13.html)]

Ось вращения планеты наклонена на  $98^\circ$  к плоскости орбиты, так что она вращается как бы лежа на боку, причем в обратную сторону по отношению к направлению орбитального движения. Плоскость орбиты планеты практически совпадает с плоскостью эклиптики. Полный оборот вокруг Солнца Уран совершает за 84 года, двигаясь со скоростью 6,8 км/с на расстоянии около 3 млрд. км, или 19,2 а.е. от Солнца. Экваториальный радиус планеты – 25559 км, а полярный радиус почти на 600 км меньше. Период вращения Урана, определенный по движению деталей в его атмосфере, зависит от широты: на широте  $70^\circ$  он составляет 14 часов, а на широте  $33^\circ$  – 16,2 часа. Масса Урана, найденная по движению его естественных спутников, оказалась в 14,5 раз больше массы Земли. Средняя плотность планеты ( $1,3 \text{ г/см}^3$ ). Атмосфера Урана более чем на 85% состоит из водорода, на 12% из гелия и на 2,3% из метана.

За счет циркуляции атмосферы, а возможно, и за счет конденсации воды в атмосфере температура на всех широтах Урана выровне-

на. В подоблачном слое атмосферы, где давление 2,3 бар, температура составляет около  $-170^{\circ}\text{C}$ , а на уровне видимой облачной поверхности она равна  $-210^{\circ}\text{C}$ , причем одинакова как на экваторе, так и на полюсах освещенного и неосвещенного полушарий.

Магнитосфера Урана имеет очень сложное строение: магнитное поле планеты существенно отличается от дипольного. На уровне видимой облачной поверхности, индукция магнитного поля близка к земной (0,2 Гс).

Согласно модели внутреннего строения Урана, в центре планеты температура должна быть около 7200 К, а давление – около 8 млн. бар. Над большим ядром, состоящим из металлов, силикатов, льдов аммиака и метана и занимающим около 0,3 радиуса планеты, должна находиться мантия из смеси водяного и аммиачно-метанового льдов. На уровне 0,7 радиуса от центра начинается газовая оболочка из водорода и гелия.

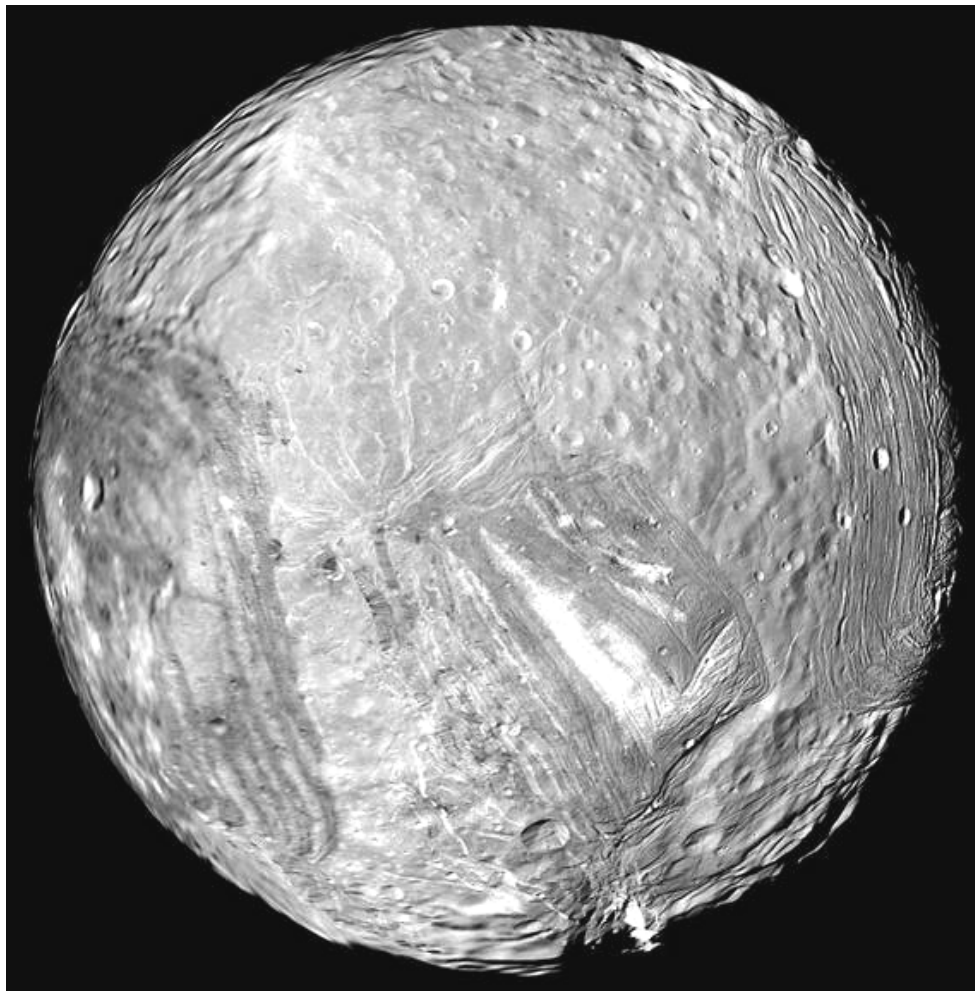
Космическим аппаратом «Вояджер-2» в 1989 г. было не только получено изображение планеты с близкого расстояния, но подтвердилось наличие тонкой системы из нескольких колец. Ранее они были заподозрены по наблюдениям с Земли во время покрытия звезд Ураном. Перед тем как звезда заходит за диск планеты, ее свет на короткое время прерывается при прохождении через кольца. Сейчас известно, что Уран окружают 9 очень узких и плотных колец, слабо отражающих солнечный свет. Внешнее кольцо шириной 32 км находится на расстоянии 51150 км от центра планеты. Кольца состоят из глыб метровых размеров.

До полета «Вояджера-2» были известны лишь 5 спутников Урана, после, по снимкам с «Вояджера-2» были найдены еще 10 спутников, находящихся в плоскости экватора планеты внутри орбиты Миранды. Начиная с 1997 г. по наблюдениям с Земли были обнаружены еще 11 далеких спутников Урана. Все внутренние спутники, до расстояния 600 тыс. км от планеты, обращаются практически в плоскости его экватора, а орбиты более далеких спутников ориентированы хаотично.

Средняя плотность крупных спутников Урана – около  $1,4 \text{ г/см}^3$ , поэтому предполагается, что они на 60% состоят из льда. Средняя суточная температура поверхности спутников – менее 60 К ( $-213^{\circ}\text{C}$ ); при такой температуре водяной лед становится твердым минералом. В настоящее время к Солнцу обращен южный полюс планеты и ее внутренних спутников, а их северные полушария находятся в тени.



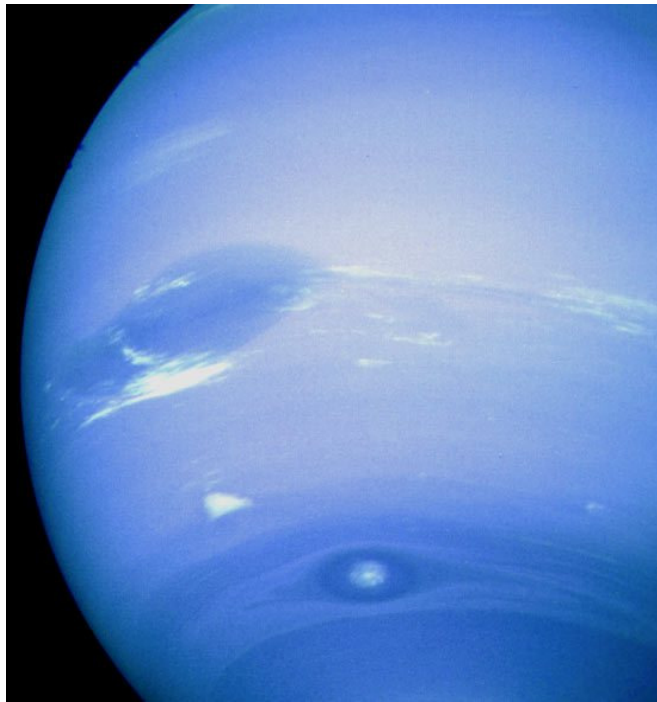
Ближайший к планете крупный спутник Миранда (диаметром 400 км) был сфотографирован с близкого расстояния (Рис.25). На его поверхности выявлены две области чередующихся темных и светлых полос которые свидетельствуют о тектонической активности Миранды.



*Рис.25 [http://ru.wikipedia.org/wiki/Miranda.jpg]*

### **Нептун.**

Нептун – четвертая из планет-гигантов, названа в честь бога морей в античной мифологии (Рис.26). Экваториальный радиус Нептуна (24764 км) почти в 4 раза превышает радиус Земли, а по массе Нептун в 17 раз больше нашей планеты. Средняя плотность Нептуна –  $1,64 \text{ г/см}^3$ . Он обращается вокруг Солнца на расстоянии 4,5 млрд. км (30 а.е.), совершая полный цикл почти за 165 земных лет. Плоскость орбиты планеты наклонена на  $1,8^\circ$  к плоскости эклиптики. Наклон экватора к плоскости орбиты составляет  $29,6^\circ$ . Из-за большой удаленности от Солнца освещенность на Нептуне в 900 раз меньше, чем на Земле.



*Рис.26 [http://www.aptr.ru/photo/cosmos/cosmos\_10.html]*

Планета была открыта в 1846 г. на основе расчетов и анализа возмущений в движении Урана. Ее положение на небе было теоретически вычислено одновременно английским ученым Д. Адамсом и французским ученым У. Леверье. Обнаружение планеты явилось настоящим триумфом небесной механики. Руководствуясь этим прогнозом, немецкие астрономы Галле и д'Арре обнаружили Нептун. Позднее выяснилось, что, начиная с Галилея, астрономы отмечали положение Нептуна на картах, но принимали его за звезду.

Американская АМС «Вояджер-2», пролетевшая мимо этой планеты в 1991г., значительно обогатила наши представления о ней. Большое темное пятно размером с нашу планету, обнаруженное в южном полушарии Нептуна, является гигантским антициклоном, совершающим полный оборот за 16 земных суток. Это область повышенного давления и температуры. В отличие от Большого красного пятна на Юпитере, дрейфующего со скоростью 3 м/с, Большое темное пятно на Нептуне перемещается к западу со скоростью 325 м/с. В атмосфере Нептуна наблюдаются рекордные по скорости ураганные ветры со скоростью около 1000 км/час.

Как и у других планет-гигантов, атмосфера у Нептуна в основном состоит из водорода. На долю гелия приходится около 15% и 1% – на долю метана. Видимый облачный слой соответствует давлению 1,2 бар. Предполагается, что на дне атмосферы находится океан из



воды, насыщенной различными ионами. Значительное количество метана, по-видимому, содержится глубже, в ледяной мантии планеты. Даже при температуре в тысячи градусов при давлении в 1 Мбар смесь воды, метана и аммиака может образовать твердые льды. На долю горячей ледяной мантии, вероятно, приходится 70% массы всей планеты. Около 25% массы Нептуна должно, по расчетам, принадлежать ядру, состоящему из окислов кремния, магния, железа и его соединений, а также каменных пород. Модель внутреннего строения планеты показывает, что давление в ее центре около 7 Мбар, а температура – около 7 000 К. В отличие от Урана, поток тепла из недр Нептуна почти втрое больше тепла, получаемого от Солнца. Этот феномен связывают с выделением тепла при радиоактивном распаде элементов с большой атомной массой.

Магнитное поле Нептуна вдвое слабее, чем Урана. Угол между осью магнитного диполя и осью вращения Нептуна составляет 47°. Центр диполя смещен на 6000 км в южное полушарие, поэтому магнитная индукция у южного магнитного полюса в 10 раз выше, чем у северного. Кольца Нептуна в целом похожи на кольца Урана, с той лишь разницей, что у Нептуна суммарная площадь поверхности вещества в них в 100 раз меньше, чем у Урана. Отдельные дуги колец, окружающих Нептун, были обнаружены при покрытиях звезд планетой. На снимках «Вояджера-2» вокруг Нептуна видны незамкнутые образования, которые назвали арка – расположены на сплошном самом внешнем кольце малой плотности. Диаметр внешнего кольца – 69,2 тыс. км, а ширина арок – примерно 50 км. Другие кольца, находящиеся на расстояниях от 61,9 тыс. км до 62,9 тыс. км, замкнутые.

При наблюдениях с Земли к середине XX в. были обнаружены два спутника Нептуна – Тритон и Нереида. «Вояджер-2» обнаружил еще 6 спутников размерами от 50 до 400 км и уточнил диаметры Тритона (2 705 км) и Нереиды (340 км). В 2002-2003 гг. при наблюдениях с Земли были открыты еще 5 далеких спутников Нептуна.

Самый крупный спутник – *Тритон* – гигант среди спутников планет (Рис.27), уступает по размеру только Луне, Титану и галилеевым спутникам Юпитера (радиус 1350 км). Тритон обращается вокруг планеты на расстоянии 355 тыс. км с периодом около 6 суток по круговой орбите, наклоненной на 23° к экватору планеты. Он единственный внутренний спутник Нептуна, движущийся по орбите в обратном направлении. Средняя плотность Тритона – 2,1 г/см<sup>3</sup>. Температура поверхности составляет 38 К. На космических снимках

большая часть поверхности Тритона представляет собой равнину с множеством трещин. Южный полюс окружает светлая полярная шапка. На равнине обнаружено несколько впадин поперечником 150-250 км. Возможно у Тритона есть каменное ядро радиусом около 1000км. Разреженная атмосфера Тритона состоит в основном из азота, небольшого количества метана и водорода. Снег на поверхности Тритона и полярной шапке – это иней азота. Удивительные образования, выявленные на полярной шапке – газовые гейзеры, поднимающиеся на высоту до 8 км.

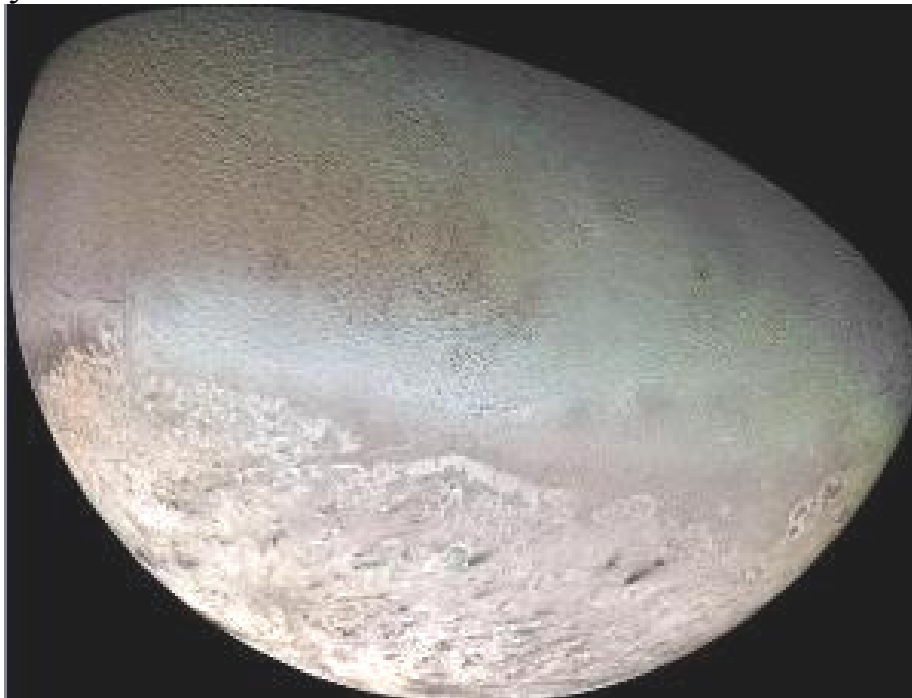


Рис.27 [<http://galspace.spb.ru/index57.html>]

#### **1.4. Малые тела Солнечной системы**

##### **Астероиды.**

Кроме рассмотренных выше больших тел в состав Солнечной системы входят и относительно небольшие объекты. К настоящему времени обнаружено более сотни тысяч тел небольших размеров (от нескольких сотен километров до одного километра и меньше). Эти тела не являются спутниками планет, а движутся вокруг Солнца самостоятельно, как маленькие планеты. Эти тела называются *астероидами*, что означает «подобные звездам». Астероиды относят к *малым телам* Солнечной системы. На фотографиях звездного неба их можно отличить только по медленному перемещению относительно звезд.

Большая часть астероидов движется по орбите между Марсом и Юпитером, где они образуют так называемый *главный пояс астероидов*. Их орбиты, как правило, близки к плоскости эклиптики и не слишком сильно отличаются от окружностей, поэтому лишь небольшая часть астероидов заходит за орбиту Земли. Однако есть исключения. Например, у астероида Икар орбита сильно вытянута, и его расстояние от Солнца при движении по орбите меняется более чем в десять раз. Подобные астероиды могут близко подходить к Земле и даже сталкиваться с ней. Существует группа астероидов с диаметром: больше 1 км (их около 1300), орбиты которых пересекаются с земной орбитой. Согласно существующим оценкам, астероиды размером больше 1 км в диаметре должны падать на Землю, образуя кратеры диаметром более 10 км, в среднем 1 раз в 100 тыс. лет. Один из таких кратеров на нашей планете обнаружен на полуострове Юкатан, в Мексике. В этом месте около 70 млн. лет тому назад астероид столкнулся с Землей. Последствия такого столкновения были катастрофическими; они привели к резкому изменению климата на всей планете, вымиранию многих видов животных и растений.

В конце XX в. за орбитой Нептуна, на окраинах Солнечной системы, открыт еще один, внешний пояс астероидов, довольно больших по своим размерам – пояс Койпера. Орбита Плутона находится уже внутри него. Таким образом, в настоящее время Плутон рассматривают как карликовую планету и в то же время как крупнейшее тело пояса Койпера. Таким образом, граница между планетами и астероидами оказывается весьма условной. Как, впрочем, условна граница между астероидами и кометами.

Астероиды этого пояса, в том числе с размером более 100 км, относятся к транснептуновым объектам. Они редко появляются вблизи Солнца; в поясе Койпера они проводят большую часть времени, так как в отдаленных от Солнца точках своей траектории астероиды движутся значительно медленнее, чем около Солнца. Особый интерес к поясу Койпера вызван тем, что, по-видимому, он состоит из того же «строительного материала», из которого около 4,5 млрд лет назад непосредственно образовывались планеты Солнечной системы.

В районе пояса Койпера обнаружено уже свыше 200 объектов размером более 100 км, ряд из них сравнимы по размерам с Плутоном. Они имеют красную поверхность, что указывает на ее древний состав и возможное существование органических соединений. Эти объекты, по-видимому, обладают свойствами, как астероидов, так и

комет. Ожидается, что здесь могут существовать десятки тысяч подобных объектов и миллионы более мелких, диаметром 5-10 км. Судя по оценкам, пояс Койпера в сотни раз массивнее пояса астероидов, расположенного между Марсом и Юпитером.

Известно лишь около 30 астероидов с диаметром не менее 200 км. Самый крупный астероид главного пояса – Церера с диаметром около 1000 км (Рис.28). Церера исторически была открыта первой, в 1801 г., и пока несколько лет спустя не обнаружили другие тела, движущиеся по сходным орбитам между Марсом и Юпитером, ее считали планетой. В настоящее время Цереру относят к карликовым планетам. Диаметр крупнейшего транснептунового объекта, обнаруженного в 2003 г. и предварительно названного Ксена, еще больше: около 3000 км. Этот объект также классифицируется как карликовая планета. Но размеры подавляющего большинства астероидов во много раз меньше. Самые маленькие из известных астероидов не превышают 1 км. Без сомнения, существует и множество совсем мелких астероидов, которые невозможно заметить с больших расстояний. Суммарная масса всех астероидов, скорее всего не превышает массу Луны. Наиболее далекий известный в настоящее время объект Солнечной системы – астероид Седна (открыт в 2003 г). Двигаясь по сильно вытянутой орбите, он удаляется от Солнца на максимальное расстояние около 400 а.е.

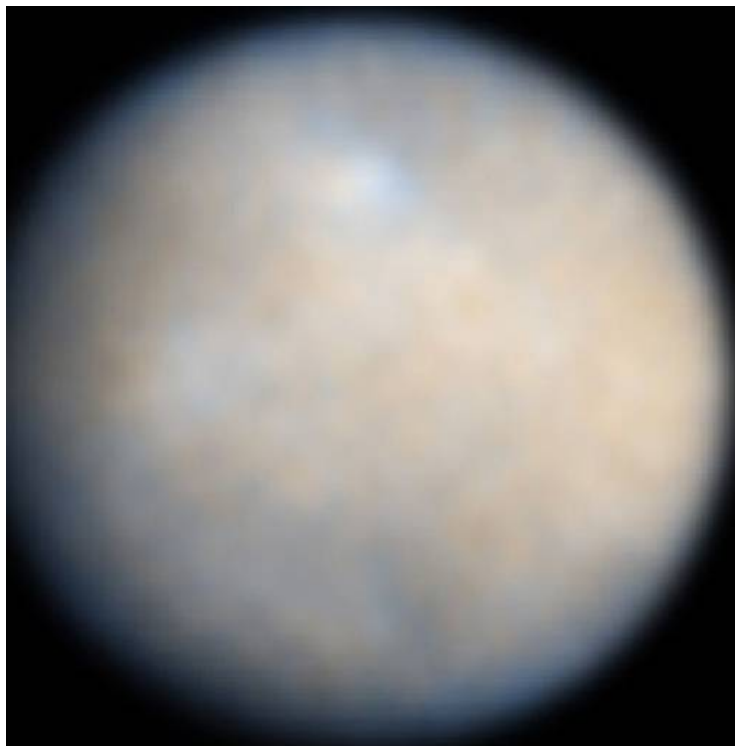


Рис.28 [<http://kosmosx.ru/img/331/>]

Периодические изменения яркости, наблюдаемые у некоторых астероидов, говорят об их неправильной форме, неровной поверхности и об их вращении вокруг своих осей. Лишь самые крупные астероиды имеют, как и планеты, шарообразную форму.

Ряд астероидов был исследован с близких расстояний при помощи космических аппаратов. Как правило, они оказывались телами неправильной формы, часто сильно вытянутыми, со следами метеоритных ударов. У ряда астероидов обнаружены спутники (например, астероид Ида со спутником Дактиль). Первый космический аппарат «Шумейкер» (США), совершивший такую посадку на астероид Эрос 12 февраля 2001 г., передал важную информацию о свойствах его поверхности. Японский аппарат «Хаябуса» в 2005-2006 гг. работал у поверхности и на самой поверхности астероида Итокава, взял пробу его грунта.

Атмосфер у астероидов практически нет: слабая гравитация не может сколько-нибудь долго удерживать газовую оболочку. Некоторые небольшие астероиды являются осколками более крупных, но в своей совокупности они никогда не образовывали единой планеты.

### **Кометы.**

Кометы также являются малыми телами Солнечной системы, которые движутся по очень вытянутым орбитам, основное время своей жизни, находясь далеко от Солнца, где остаются невидимыми, и резко изменяют свой вид, когда приближаются к Солнцу, – у них образуется светящийся «хвост», направленный в сторону, противоположную от Солнца. Яркие кометы могут иметь несколько хвостов, разной длины и цвета. В год открывают 5-10 комет. Раз в 15-20 лет появляются особенно яркие кометы. К настоящему времени зарегистрировано больше 2000 комет. Многие из них видны лишь в телескоп и выглядят как слабые пятна, размытые по краям. Но бывают и громадные кометы, яркий хвост которых занимает, почти треть небосвода (Рис.29).



*Рис.29 Комета Хякутаке пролетает около Земли*  
[[http://www.astronet.ru:8101/db/msg/1237358/hyakutake\\_zubenel\\_big.jpg.html](http://www.astronet.ru:8101/db/msg/1237358/hyakutake_zubenel_big.jpg.html)]

О существовании комет людям известно с глубокой древности. Туманные хвостатые светила, очень медленно перемещающиеся по звездному небу, считались посланцами богов – предвестниками несчастий, ужасных событий (войн, катастроф, эпидемий, смерти монархов, разрушения государств, голода и т.п.). В истории было немало случаев, когда появление на небе кометы порождало слухи о ее неминуемом столкновении с Землей и наступлении конца света.

Природа комет долгое время оставалась совершенно неизвестной, хотя еще в XVI в. Тихо Браге показал, что кометы дальше Луны. В XVII в. современник и друг И. Ньютона Э. Галлей доказал периодичность появления одной из комет, получившей впоследствии его имя. Он точно рассчитал ее движение под действием солнечного притяжения. Орбита кометы Галлея оказалась сильно вытянутой. Период ее обращения вокруг Солнца 76 лет. Есть данные о ее наблюдении с 239 г. до н.э. За это время она появлялась 30 раз. В последний раз она появилась в 1986 г. и изучалась с близкого расстояния пятью космическими аппаратами. Оказалось, что ядро кометы имеет картофелеобразную форму длиной около 15 и шириной около 8 км, черную поверхность, напоминающую уголь. На каждом витке вокруг Солнца она «худеет» примерно на 200 м.

В отличие от большинства других тел Солнечной системы кометы движутся как по прямым, так и по обратным орбитам, наклоненным под самыми различными углами к эклиптике. Произвольная ориентированность в пространстве орбит сразу позволяет отличить комету от других тел Солнечной системы. Большая часть комет про-



летает вблизи Солнца один раз и уже никогда не возвращается. Двигаясь по гиперболическим орбитам, они могут навсегда покинуть Солнечную систему. Другие же кометы, движущиеся по эллиптическим орбитам, становятся периодическими. Это примерно четвертая часть всех зарегистрированных комет. Их принято подразделять на долгопериодические (с периодом обращения свыше 200 лет) и короткопериодические (менее 200 лет). Короткопериодических комет около 150, из которых около 100 комет на памяти человечества неоднократно появлялись около Солнца.

Основная масса кометы сосредоточена в ее *ядре*, состоящем из смеси различных льдов (водяного льда, замерзших углекислоты, аммиака, метана, водорода и др.), загрязненного мелкой пылью и более крупными каменистыми частицами. Ядро может иметь размеры от 0,5 до 20 км. Кометы наблюдаются тогда, когда ядро кометы приближается к Солнцу (на расстояние примерно 4-6 а.е.), нагревается и лед начинает испаряться. День за днем температура повышается. Сначала испаряется метан, аммиак, водород, затем углекислота, последней испаряется вода. В результате выделяются газы и пылевые частицы, которые создают вокруг ядра светящуюся туманную оболочку, называемую *комой*. Обычно кома растягивается на расстояние от 100 тыс. до 1 млн. км от ядра. Ядро вместе с комой составляет *голову* кометы.

Ледяные глыбы ядра кометы содержат химические соединения с разной летучестью. В области сильного нагрева вблизи Солнца это приводит к образованию струйных истечений, гейзеров пара и пыли, а также взрывов внутри ядра, выбрасывающих огромное количество газа на 20-30 тыс. км. Зафиксированы случаи, когда в результате таких взрывов ядро разваливалось на части. Такие истечения и взрывы приводят к тому, что кометы крошатся, оставляя за собой частицы льда, пыль, камни. Эти осколки продолжают летать по орбите кометы, образуя метеорное вещество. Попадая в атмосферы планет, потерянные кометой частицы становятся причиной возникновения метеоров, метеорных потоков. Большинство наблюдаемых нами метеоров связано именно с кометными частицами.

Ядра комет представляют собой, по-видимому, остатки первичного вещества Солнечной системы. Из такой кометной пыли, камней и льдов, возможно, образовалась Солнечная система. Особенно важно знать химический состав комет. Спектроскопический анализ позволил выяснить, что в головах комет присутствуют нейтральные атомы, нейтральные молекулы, а также ионы. Поражает на-

личие органических соединений. Это проливает свет на проблему происхождения жизни. Она могла возникнуть гораздо раньше, чем предполагалось до сих пор. Поэтому важны прямые исследования кометного вещества с помощью космических аппаратов.

Для научных исследований комет было запущено несколько космических аппаратов на встречу с ними. Они дали бесценную информацию об их химическом составе, физических свойствах, о форме и размере ядра. В 1999 г. в США был запущен КА «Звездная пыль», который прошел в непосредственной близости от ядра одной из комет, а в 2006 г. спускаемая капсула этого аппарата вернулась на Землю и доставила образцы пылевых частиц, выброшенных кометой. Такие исследования проводились и в 1985 и 1986 гг., когда космические аппараты пролетели через хвосты комет Джакобини-Циннера и Галлея. В 2005 г. ядро кометы Темпл-1 было обстреляно снарядом с космического аппарата с целью изучить образовавшиеся после взрыва частицы отделившейся породы, т.е. содержимое ядра кометы, которое по возрасту относится к моменту формирования Солнечной системы.

Поток частиц ионизированного газа, непрерывно летящих от Солнца (*солнечный ветер*), взаимодействует с газом кометы посредством своего магнитного поля и «сдувает» его в сторону, противоположную Солнцу. В итоге у кометы развивается длинный *хвост* – самая примечательная часть большинства комет. Наиболее ярок он тогда, когда комета находится на минимальном расстоянии от Солнца. Некоторые кометы имеют по два хвоста: один – искривленный, состоящий из частиц пыли; второй – прямой, газовый (плазменный), вытянутый в направлении, строго противоположном от Солнца. Пылевой хвост образуется в результате давления, оказываемого квантами света на кометную пыль; в результате свет гонит пылинки прочь от Солнца. Такой хвост имеет желтоватый цвет, поскольку пылинки просто рассеивают солнечный свет. Кроме того, он не прямой, а изогнутый; пыль уходит из головы кометы медленнее, чем атомы, молекулы и ионы газа, и пылевой хвост волочится по орбите, изгибаясь. Длина пылевого хвоста может достигать десятков миллионов километров.

Газовый (плазменный) хвост может быть намного длиннее пылевого и растягивается иногда на сотни миллионов километров. Хвост возникает в результате взаимодействия заряженных частиц, ионов (т.е. плазмы) с солнечным ветром. Солнечный ветер (поток за-

ряженных частиц, разбегающихся от Солнца, несущий с собой магнитное поле), налетая на голову кометы, подхватывает своим магнитным полем ионы газа, испаряющегося из кометного ядра, и несет их со скоростью 500 – 1000 км/с в сторону, строго противоположную от Солнца, образуя прямой плазменный хвост. На нейтральные частицы кометного газа солнечный ветер не действует. Эти частицы просто задерживаются у ядра, пополняя объем головы кометы.

Примечательно, что кометный хвост может обрываться. «Обрыв хвоста» представляет собой яркое зрелище: один хвост кометы обрывается и отстает от кометы, на смену ему формируется другой. Это связано с тем, что плазменный хвост связан с головой кометы магнитным полем. Магнитное поле создается солнечным ветром и в разных его областях имеет разное направление. Когда комета проходит через границы областей солнечного ветра с разными направлениями магнитного поля, структура хвоста изменяется и это выглядит как его обрыв и формирование нового хвоста.

На место комет, распадающихся под действием Солнца, постоянно приходят новые. Проблема «источника» комет является одной из ключевых в астрономии. В разное время она получала различные решения. Одна из точек зрения состояла в том, что кометы – посланцы межзвездной среды. Они прилетают в Солнечную систему из далекого космоса, захватываются тяготением Солнца и планет. Некоторые из них переходят на эллиптические орбиты и становятся периодическими. Такое решение не исключается хотя бы для некоторых комет.

Согласно другой точке зрения (ее активно разрабатывал отечественный астроном С.К. Всехсвятский), кометы являются продуктом взрывных процессов на спутниках дальних планет Солнечной системы (Юпитера, Сатурна, Урана, Нептуна), где проявляется мощная вулканическая активность. Исследования космическими аппаратами спутников планет-гигантов показали, что такая активность некоторым из них действительно присуща, но масса вулканических выбросов недостаточна для образования всех комет Солнечной системы.

Третья точка зрения (уже упомянутая выше), высказанная в 1950 г. голландским астрономом Яном Оортом, разделяется большинством исследователей. Она построена на предположении, что на далеких окраинах Солнечной системы существует облако кометного вещества («облако Оорта»), образовавшееся в результате гравитационного выброса ледяных тел из зоны планет-гигантов во время их образования

около 4,5 млрд. лет тому назад. Облако Оорта называют «музеем стройматериалов, которые использовались при создании Солнечной системы».

Расчеты показывают, что облако Оорта находится на расстоянии 20000 – 100000 а.е. от Солнца и может содержать примерно  $10^{12}$  кометных ядер (их полная масса невелика: по последним оценкам она составляет всего 10% массы Земли). Орбиты находящихся здесь ядер комет меняются под воздействием притяжения ближайших звезд. При этом некоторые кометные ядра, приобретая параболическую скорость по отношению к Солнцу (а на столь далеких расстояниях от Солнца она невелика – около 100 м/с), навсегда покидают Солнечную систему. Другие же приобретают небольшую скорость (около 1 м/с) и переходят на движение по эллиптической орбите, перигелий которой находится недалеко от Солнца. В таком случае их можно наблюдать с Земли в виде комет. Под действием притяжения планет, особенно планет-гигантов, такие кометы изменяют свои орбиты. В одних случаях размеры орбит уменьшаются и кометы становятся периодическими; в других – наоборот, их орбиты становятся гиперболическими и кометы навсегда покидают Солнечную систему.

Поскольку орбиты комет пересекают орбиты планет, то возможны столкновения комет с планетами. Так, в 1994 г. астрономы наблюдали редчайшее событие – столкновение кометы с Юпитером. Фрагменты разрушившегося ядра кометы размером до нескольких километров один за другим врывались в атмосферу планеты со скоростью около 65 км/с. Яркие вспышки при ударах и большие возмущения в атмосфере Юпитера наблюдались космическими и наземными телескопами. Падение подобной кометы на Землю имело бы катастрофические последствия для жизни людей – не столько из-за локальных разрушений вблизи места падения, сколько из-за выброса в атмосферу большого количества пыли, который может привести к длительному и существенному понижению температуры на планете.

Некоторые наблюдаемые нами кратеры на Луне, Марсе и других планетах и их спутниках говорят о том, что они образовались в результате ударов ядер комет. Что касается Земли, то по существующим оценкам Земля имеет вероятность столкнуться с ядром кометы диаметром 17 км (и более) 1 раз в 1,5 млрд. лет. За 4,5 млрд. лет существования Солнечной системы Земля могла, по меньшей мере, трижды столкнуться с крупной кометой. Такие столкновения имели катастрофические последствия для растительной и животной жизни.

В одних областях нашей планеты жизнь была полностью уничтожена, а в других – исчезло большинство видов растений и животных. Так, какая-то крупная катастрофа 250 млн. лет назад (пермский период палеозоя) привела к радикальному изменению климата на Земле, вымиранию большинства растений и животных. После этой катастрофы эволюция живого мира пошла по новым путям, которые, в частности, привели к расцвету млекопитающих.

### **Метеоры и метеориты.**

Осколками астероидов, остатками комет, а также протопланетного вещества, из которого образовывалась Солнечная система, являются метеорные тела, метеороиды.

Обычно метеороиды имеют небольшие размеры. Попадая в атмосферу Земли и испытывая ее сопротивление, метеороид начинает нагреваться, раскаляться и светиться. В это очень короткое время он виден как яркий *метеор* (Рис.30). В большинстве случаев метеоры полностью сгорают в атмосфере. Иногда метеороиды несутся в межпланетном пространстве большими роями, и тогда при их столкновении с земной атмосферой на небе наблюдаются *метеорные потоки*. Некоторые из них носят периодический характер. Периодические метеорные потоки обычно связываются с кометами либо давно исчезнувшими, либо имеющими периоды обращения сотни и тысячи лет.



*Рис.30. Метеор из потока Геминид над Долиной Монументов*  
[[http://www.astronet.ru:8101/db/msg/1237315/Geminid2007\\_pacholka850wp.jpg.html](http://www.astronet.ru:8101/db/msg/1237315/Geminid2007_pacholka850wp.jpg.html)]

Метеоры можно наблюдать в любую ясную ночь. Иногда они появляются реже, иногда чаще. Каждый год около 21 октября наблюдается не очень сильный метеорный поток, связанный с кометой Галлея. Направление движения потока таково, что метеоры кажутся вылетающими из созвездия Ориона. Но чаще всего метеоры можно наблюдать в августовские ночи, когда Земля пересекает поток *персеид*. Пути этих метеоров как бы исходят из одной точки, называемой *радиантом* и находящейся в созвездии Персея. Тела с массой в десятки граммов вспыхивают как очень яркие метеоры, оставляющие за собой широкий и продолжительный след. Их называют *болидами* (Рис.31). Если болид не сгорает полностью в атмосфере, то он в виде камня падает на Землю. Такие упавшие с неба камни называются *метеоритами*. Они бывают разных размеров – от мелких пылинок до сотен килограммов или даже десятков тонн. В результате столкновения крупных метеоритов с поверхностью Земли может произойти взрыв, выброс грунта и образование кратера. На поверхности земного шара известно свыше сотни кратеров метеоритного происхождения (от десятков метров до десятков километров в поперечнике).



*Рис.31. Болид над пустыней Мохаве*

[[http://www.astronet.ru:8101/db/msg/1237388/Geminid2009\\_pacholka850wp.jpg.html](http://www.astronet.ru:8101/db/msg/1237388/Geminid2009_pacholka850wp.jpg.html)]



Метеориты несут нам внеземное вещество. И до тех пор пока на Землю не были доставлены образцы лунного фунта, метеориты являлись единственными образцами внеземного вещества. По современным представлениям, метеориты в основном являются обломками астероидов. Вместе с тем попадаются редкие типы метеоритов, имеющих, по-видимому, марсианское и лунное происхождение. Изучение вещества метеоритов имеет очень важное значение для разработки учения о происхождении и эволюции Солнечной системы. Метеориты сохранили ряд свойств, в которых отражены процессы, сопровождавшие рождение Солнечной системы и различные этапы ее эволюции.

Метеориты разделяются на каменные (93,3%), железно-каменные (1,3%) и железные (5,4%). Химический состав каменных метеоритов, состоящих в основном из кислорода (36,6%), железа (25,6%), кремния (18,0%) и магния (14,2%), сходен с химическим составом глубинных слоев Земли. Основные минералы, из которых состоят каменные метеориты, известны и широко распространены на Земле. Вместе с тем есть земные минералы, которые не встречаются в метеоритах, а некоторые минералы, которые есть в метеоритах, не встречаются в земных породах. Это еще раз подтверждает, что мир един (за пределами Земли мы встречаем те же химические элементы, те же химические соединения, что и на нашей планете) и в то же время бесконечно многообразен (например, в разных условиях из одних и тех же химических веществ образуются различные минералы).

Наличие в метеоритах незначительного количества радиоактивных элементов (урана, радия, тория и др.), атомы которых закономерно распадаются с образованием конечных продуктов, позволяет с довольно высокой точностью определить возраст Солнечной системы и период, в течение которого шло ее становление из протопланетного облака. По современным оценкам, время, протекшее от начала формирования метеоритного вещества, составляет 4,5 – 4,6 млрд. лет. В свою очередь вещество, из которого образовалась Солнечная система, включая метеориты, примерно за 180 млн. лет до начала ее образования было обогащено вспыхнувшей сверхновой звездой. Установлен и временной интервал, в течение которого шло образование Солнечной системы из протопланетного облака, – от 50 до 200 млн. лет.

Падение крупных метеоритов оставило свои следы на твердых поверхностях всех планет и их спутников. Ряд крупных кратеров

имеется и на Земле. Прекрасно сохранился гигантский кратер диаметром 1,4 км в США (штат Аризона), образованный тысячи лет назад падением метеорита, масса которого составляла, по расчетам, около миллиона тонн. На Земле известно и немало древних разрушенных кратеров. Размеры крупнейших из них измеряются десятками километров, а в отдельных случаях – более 100 км.

В 1908 г. в глухой сибирской тайге, возможно, упал очень крупный метеорит, названный *Тунгусским*. До сих пор никаких осколков его найти не удалось. Он взорвался на высоте в несколько километров, не долетев до Земли. Взрыв вызвал повал леса на огромной площади и большой лесной пожар. Никаких кратеров или метеоритных следов на месте падения не обнаружено. Предполагается, что Тунгусский метеорит был ледяным ядром небольшой кометы.

В 1947 г. на Дальнем Востоке в отрогах хребта Сихотэ-Алинь раскололся на множество частей в воздухе и упал крупный железный метеорит. С площади более трех квадратных километров удалось собрать космическое вещество массой более 27 т. Общая масса выпавшего вещества оценивается примерно в 70 т. Возникший при этом *метеоритный дождь* образовал более сотни кратеров и воронок.

Мелкие метеориты падают на Землю ежедневно. Полная масса вещества, выпадающего на Землю из космического пространства за сутки (главным образом, в виде очень мелких частиц космической пыли), достигает нескольких сотен тонн. Таким образом, межпланетное пространство непрерывно пронизывается летящими пылинками, крупными и мелкими метеоритными телами.

### **1.5. Жизнь в Солнечной системе**

Человека всегда волновали вопросы о том, одинок ли он во Вселенной, есть ли жизнь вне Земли. Порой бывает трудно поверить, что человеческий разум, земная цивилизация и земная биосфера – уникальны во Вселенной. Со времен Дж. Бруно и вплоть до середины XX в. вокруг вопросов о существовании внеземной жизни и внеземных цивилизаций в Солнечной системе создавалось множество умоуязвимых гипотез, базировавшихся на фантастических интерпретациях наблюдаемых данных (например, замеченные в телескоп в XIX в. системы прямых линий на поверхности Марса интерпретировались как искусственные ирригационные сооружения, «каналы» и т.д.).

Пока мы достоверно знаем только одно место во Вселенной, где существует жизнь и разум – это наша планета Земля. Внеземные

формы жизни и разума до сих пор не обнаружены. Но это не значит, что они не существуют. На других телах Солнечной системы (планетах, их спутниках, тем более астероидах) природные условия не позволяют существование не только разумной жизни, но и развитым формам живого вообще. Искать собратьев по разуму в Солнечной системе никакого смысла нет. Однако это не относится к простейшим формам жизни. Простейшие формы жизни вполне могли существовать, а возможно, существуют и сейчас, за пределами Земли. Особую остроту это предположение приобрело в связи с сенсационным сообщением в 1996 г. американских ученых об открытии: в найденном в Антарктиде метеорите марсианского происхождения были обнаружены полициклические ароматические углеводороды, которые можно трактовать как окаменелые остатки древних микроорганизмов внеземного происхождения (по размерам они оказались в 100 – 1000 раз меньше земных). И хотя не все специалисты разделяют данную точку зрения, и вопрос о существовании остатков внеземной жизни в марсианском метеорите пока остается открытым, предположение о существовании простейших неземных форм жизни в Солнечной системе имеет некоторые основания.

Прежде чем искать любые формы жизни в Солнечной системе, необходимо понять, какие тела по условиям их естественной среды могут претендовать на роль обитатели внеземной жизни. Так, после того, как окончательно установилось мнение, что значительная часть кислорода в земной атмосфере (которого в ней около 21%) – результат деятельности биомассы, наличие кислорода в атмосфере других тел считается одним из признаков существования там живых организмов.

Так, летом 1995 г. с помощью спектрографа высокого разрешения космического телескопа «Хаббл» в ультрафиолетовой части спектра Европы были обнаружены детали, свойственные молекулярному кислороду. На этом основании был сделан вывод о наличии у Европы кислородной атмосферы, простирающейся до высоты около 200 км. Конечно, общая масса этой газовой оболочки ничтожна. С большой вероятностью кислород на Европе имеет небиологическое происхождение. По-видимому, происходит испарение незначительного количества водяного льда, покрывающего поверхность Европы. Вероятной причиной может быть, например, его микрометеоритная бомбардировка. Затем молекулы водяного пара разрушаются под действием солнечного ультрафиолета, и легкие атомы водорода, дви-

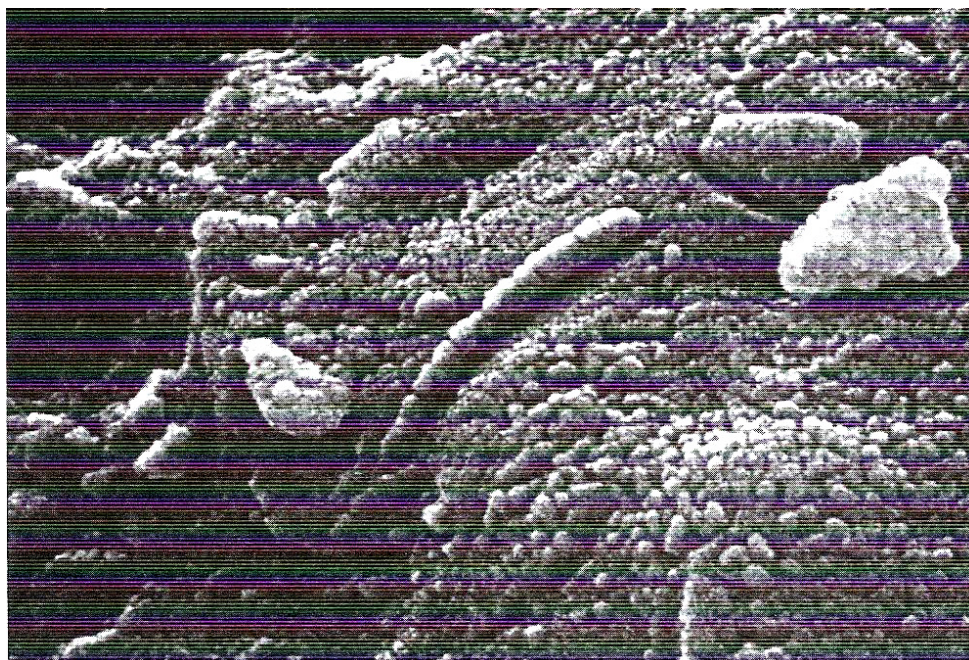
жущиеся с большой скоростью, улетают из атмосферы в космическое пространство.

Пример Европы показывает, что, кроме наличия воды, существенным условием развития жизни является подходящая температура среды. По этому признаку из всех крупных планет может быть выделен только Марс. В этом смысле на Марс возлагаются большие надежды.

Как известно Марс принадлежит к планетам земного типа. Марсианские сутки почти равны земным, марсианская смена времен года похожа на земную. Марс обладает атмосферой, состоящей в основном из углекислого газа и азота (с примесью аргона, кислорода, водяных паров и др.), хотя и намного менее плотной, чем земная. На Марсе есть явные следы вулканической активности, эрозийной деятельности (следы потоков лавы, селевых потоков, возможно, даже высохшие русла рек и др.). Правда, Марс в 1,5 раза дальше от Солнца, чем Земля, поэтому его поверхность намного холоднее земной (средняя температура поверхности Марса составляет  $-59^{\circ}\text{C}$ ). Температурный режим на Марсе примерно соответствует зимней Антарктиде.

С помощью космических аппаратов удалось доказать присутствие на Марсе толстого слоя подпочвенного льда, а значит – воды в больших количествах. В экваториальных районах Марса условия вполне благоприятны для образования простейших (анаэробных, бескислородных) форм жизни, особенно в почвенном слое. Однако поиск микроорганизмов в марсианском грунте, осуществлявшийся космическими аппаратами (Викинг-1, Викинг-2 и др.), положительных результатов не дал. Возможно, их просто не оказалось в местах посадки космических аппаратов.

Следует отметить, что мысль о возможности жизни на Марсе далеко не нова: она пропагандировалась еще на рубеже XIX и XX вв., во времена Дж. Скиапарелли и П. Ловелла. Но столь очевидное свидетельство, как окаменелые бактерии, появилось впервые лишь в конце XX в.



*Рис.31. Предполагаемая окаменелость марсианского микроорганизма из метеорита ALH84001.*

В настоящее время на Земле уже найдено несколько десятков фрагментов марсианского вещества. Некоторые из этих метеоритов были найдены в разных частях земного шара еще в прошлом веке. По своим необычным характеристикам эти осколки были отнесены к особой группе. В частности, все они имеют необычно поздний возраст кристаллизации – от 0,65 до 1,4 млрд. лет. Кроме того, недавно было установлено, что типичный только для них изотопный состав редких газов с большой вероятностью указывает на их марсианское происхождение, поскольку таков же изотопный состав атмосферы Марса.

В августе 1996 г. Д. Мак-Кей с группой сотрудников Космического центра им. Джонсона (США) объявил о наличии в одном из марсианских метеоритов окаменелых остатков древних микроорганизмов внеземного происхождения.

Для доказательства биологического происхождения обнаруженных реликтов исследователи выстроили целую систему аргументов. В частности, они обратили внимание на то, что все эти структуры располагаются внутри карбонатных глобул (отложений карбонатов, окислов, сульфидов и сульфатов железа), возраст которых составляет 3,6 млрд. лет, то есть, несомненно, относится ко времени пребывания метеорита в марсианской среде. Кроме того, изотопный состав кислорода и углерода, образующих минералы глобул, однозначно соот-

ветствует изотопным характеристикам марсианских аналогов этих газов, определенных непосредственно на Марсе приборами посадочных аппаратов «Викинг» в 1976 г. Наконец, в земных условиях органические соединения, подобные тем, что обнаружены вокруг микроокаменелостей, являются продуктами жизнедеятельности и последующего разложения погибших древних бактерий.

Однако многих исследователей настораживает большое различие земных и предполагаемых марсианских бактерий. Земные бактерии в 100 – 1000 раз крупнее своих марсианских «аналогов». Это обстоятельство является существенным с точки зрения микробиологии, поскольку в таком малом объеме не могут поместиться все клеточные структуры, необходимые – с земной точки зрения – для нормальной жизнедеятельности. С марсианскими «бактериями» схожи по размеру лишь самые мелкие из земных вирусов, но они не могут существовать самостоятельно.

Таким образом, в настоящий момент у нас есть лишь один, да и тот не вполне надежный, свидетель внеземной жизни – окаменелости, которые могут быть реликтами марсианских бактерий возрастом более 3 млрд. лет. Т.е. вопрос о существовании простейших форм жизни на Марсе и в Солнечной системе в целом остается открытым.



### Рекомендуемая литература

1. Адров Н.М. Концепции современного естествознания: Учебное пособие. – Мурманск: Изд-во МФ СПб ГУВК, 2008. – 705 с.
2. Анашина Н.Ю. Естественные науки. Астрономия: игры и опыты: Методическое пособие для образовательных учреждений. – М.: 2009. – 75 с.
3. Астрономия. 11 класс: Учебник для общеобразовательных учебных заведений/Б.А. Воронцов-Вельяминов, Е.К. Страут. – 3-е изд., стереотип. – М.: Дрофа, 2002. – 224 с.
4. Астрономия. Энциклопедия для детей. Том 8. М.: Аванта+, 1997. – 688с.
5. Бакулин П.И., Кононович Э.В., Мороз В.И. Курс общей астрономии: Учебник. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1983. – 560 с.
6. Белл Д. Марс 3-D. Пер. с англ. – М.: Эксмо, 2010. – 160 с.
7. Будько Н., Зайцев А., Карпачев А., Козлов А., Филиппов Б. Космическая среда вокруг нас: Введение в исследования околоземного космического пространства – книга для чтения за столом и на компьютере. Троицк: ТРОВАНТ, 2006. – 232 с.
8. Воронцов-Вельяминов Б.А. Астрономия. Учебник для 11 класса средней школы. Подготовлен к изданию Е.К. Страутом. – М.: Просвещение, 2001. – 224 с.
9. Голубев В.А. Астрономические наблюдения в школе: Методические рекомендации. – Витебск: ВГУ, 1995. – 34 с.
10. Дагаев М.М. Книга для чтения по астрономии: Пособие для учащихся. – М.: Просвещение, 1980. – 159 с.
11. Дагаев М.М. Наблюдения звездного неба. – 4-е изд. – М.: Наука, 1979. – 176 с.
12. Засов А.В., Кононович Э.В. Астрономия: Учебник для 11 класса общеобразовательных учреждений. – 3-е изд. – М.: Просвещение, 2003. – 160 с.
13. Засов А.В., Кононович Э.В. Астрономия: Учебное пособие. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 256 с.
14. Засов А.В., Постнов К.А. Общая астрофизика. 2-е изд. испр. и дополн. – Фрязино: Изд-во «Век 2», 2011. – 576 с.
15. Левитан Е.П. Астрономия: Учебник для 11 класса общеобразовательных учреждений. – 3-е изд. – М.: Просвещение, 2003. – 207 с.
16. Левитан Е.П. Мировоззренческие аспекты изучения астрономии. – М.: Высшая школа, 1983. – 111 с.

17. Порфирьев В.В. Астрономия: Учебник для 11 классов общеобразовательных учреждений. – М.: Просвещение, 2003. – 175 с.
18. Сурдин В.Г. Астрономия: век XXI. 2-е изд. испр. и дополн. – Фрязино: Изд-во «Век 2», 2008. – 608 с.
19. Сурдин В.Г. Солнечная система. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 400 с.
20. Чаругин В.М. Космология: Теория и наблюдения.– М.:Знание,1979.– 62с.
21. Я иду на урок астрономии: Звездное небо: 11 класс: Книга для учителя. – М.: Изд-во «Первое сентября», 2001. – 288 с.