**Некоторые обобщения по солнечной системе**

Отцом среди своих планет

И за Землёй следя особо -

Распространяло Солнце свет...

Семён Кирсанов

Солнце и Луна и остальные светила... ... стали образовываться и увеличиваться благодаря прибавлению и вращению некоторых мелких природ, или ветряных, или огнеобразных...

Эпикур (III - IV века до н.э.)

**Расстояния между планетами**

Каждая последующая планета отстоит от Солнца в 1,4 - 2,0 раза дальше предыдущей (в среднем в 1,7 раза). Эта закономерность известна в качестве правила Боде, популяризовавшего идею Тициуса. Соотношение нарушается только для Юпитера, что послужило поводом для поиска планеты, вместо которой был открыт пояс астероидов. В это соотношение также не совсем укладывается Плутон, но по совокупности признаков он не является "полноценной" большой планетой. Правило Боде в какой-то степени применимо и к спутниковым системам планет (см. ниже).

Правило Боде вполне объяснимо, если учесть, что планеты образовались из единого газово-пылевого облака путём гравитационного слипания частиц. Для того, чтобы частицы "слиплись" они должны обладать небольшими относительными скоростями, то есть принадлежать определённой полосе, края которой не сильно отличаются по орбитальной скорости частиц. Чем дальше от Солнца, тем такая полоса шире.

**Относительная масса планет**

Масса образующейся планеты зависит от следующих показателей:

плотность газово-пылевого облака на данном расстоянии от Солнца (она зависит от изначальной плотности облака и от расстояния до Солнца: из ближайших окрестностей Солнца свет и солнечный ветер выдувают водород и гелий - основные компоненты первичного облака);

ширина полосы, в которой идёт объединение частиц с близкими скоростями, то есть от удалённости от Солнца (чем дальше, тем полоса шире);

наличие или отсутствие по соседству особенно массивной планеты (Юпитера), которая разрушает "зародыш" планеты резонансными явлениями и оттягивает на себя часть вещества.

В непосредственной близости от Солнца газово-пылевое облако было изначально густым, но водород и гелий были выдавлены отсюда светом и солнечным ветром, полоса близких скоростей была самой узкой, большой планеты не было, но могло быть торможение вещества от трения о солнечную атмосферу и выпадение его на Солнце; поэтому здесь возникла "полноценная" планета, но самая маленькая из них - Меркурий.

Следующая полоса отличается только большей шириной и меньшим тормозящим влиянием солнечной атмосферы. Здесь возникла значительно более массивная Венера.

Следующая полоса отличается от предыдущей, в основном, тоже только шириной, и здесь должна была бы возникнуть планета раза в полтора-два массивнее Венеры, но стабильность этого участка Солнечной системы уже в какой-то степени нарушалась близостью Юпитера. Поэтому Земля оказалась лишь чуть-чуть массивней Венеры. Кроме того, она столкнулась с каким-то достаточно массивным телом (вроде Марса), и на околоземную орбиту было выброшено вещество (земная мантия), из которого возникла Луна. Удалённость от Юпитера и Солнца позволила удержать Луну. Есть предположение, что Земля возникла в восстановительной среде; силикаты были здесь безводными, а железо и никель не окислены; но Юпитер "отшвырнул" сюда часть ледяных планетезималей из своих окрестностей, и Земля оказалась богата водой, имея два химических начала [Жарков, 1998].

Следующая полоса была ещё шире, но в её пределах слишком сильно сказывалась дестабилизирующая близость Юпитера. Некоторые из планетных "зародышей" сбились с круговой орбиты и были выброшены из этой полосы (либо поглотились Юпитером, либо столкнулись с Землёй). Поэтому здесь возникла сравнительно маленькая планета - Марс. Спутники Марса появились очень поздно. Это маленькие захваченные астероиды. В этом проявилась близость к поясу астероидов.

В следующей полосе из-за близости к Юпитеру большая планета так и не возникла. Планетные "зародыши", в основном, поглотились Юпитером, стали его спутниками или были отброшены в другие части планетной системы. Из остальных образовались астероиды, суммарная масса которых очень мала по сравнению с планетами. Предположительно в поясе астероидов преобладали гидросиликаты [Жарков, 1998].

Следующая полоса была ещё шире, но, главное, что на этом расстоянии от Солнца протопланетное облако долгое время было непрозрачным для света и солнечного ветра; сюда сдувались водород и гелий из окрестностей Солнца. Поэтому здесь возник самый массивный планетный "зародыш", который поглотил также часть вещества, "предназначавшегося" для астероидов, Марса и даже Земли. Так возник Юпитер - самая массивная планета и обладающая самой массивной и самой большой по диаметру спутниковой системой. Ни один "сосед" не мог оторвать его спутники (Марс и астероиды малы, а Сатурн далёк). В полосе Юпитера преобладали льды в широком смысле (вода, метан, аммиак) [Жарков, 1998].

Следующая полоса была шире предыдущей, но изначальное облако здесь было уже не столь густое, в результате чего возник Сатурн - вторая по величине планета и обладающая тоже большой спутниковой системой.

Для каждой последующей планеты (Уран, Нептун) полоса ещё шире, но резко уменьшается изначальная густота облака. Возникают две примерно одинаковые гигантские планеты, но значительно уступающие по размерам Юпитеру и Сатурну.

На ещё большем расстоянии от Солнца облако ещё более разреженное, и частицы не смогли собраться в единую планету. Возник второй пояс астероидов или же пояс, в котором планетообразование ещё не завершилось.

**Спутники планет**

Самый далёкий из известных планетных спутников удалён от планеты на 23,7 млн. км (Синопе в системе Юпитера). Плутон же удалён от Солнца на 5913,5 млн. км, то есть планетная система примерно в 250 раз больше самой большой спутниковой. Если же учитывать облако Оорта, то Солнечная система по диаметру в 750 000 раз больше системы Юпитера. Но и система Юпитера не мала - лишь в два-три раза меньше расстояния от Солнца до Меркурия и в 61 раз больше системы Земля-Луна.

Для самых близких к Солнцу планет спутники не характерны. Либо их нет вообще (Меркурий, Венера), либо их слишком мало для каких-либо обобщений (Земля, Марс), причём спутники эти очень разные по размеру и расстоянию от планеты. Дальше всего находится от Земли Луна - в среднем на 384 395 км, или на 30 земных и 110 лунных диаметров. Это самый большой по диаметру спутник планеты земной группы - 3476 км, или 0,27 диаметра планеты. Самыми маленькими и близкими спутниками обладает Марс: до Фобоса 9500 км (чуть больше диаметра планеты), до Деймоса - 23 500 км, если диаметр Фобоса 30 км, то Деймос в 2-3 раза меньше. Харон наиболее близок по размеру к "своей" планете: 0,5 диаметра Плутона (1190 км). От него до Плутона 8,5 диаметров этой планеты (19640 км).

Спутниковые системы открыты также у четырёх астероидов, причём они предельно малы по общему размеру и по размеру составляющих тел. Километровый Дактиль кружится в 100 км от 56-километровой Иды, относительно Диониса столь подробных сведений нет, а другие двойные астероиды, возможно, являются и вообще контактными.

Спутниковые системы планет-гигантов аналогичны Солнечной системе, если не считать того, что в их составе имеются тела, захваченные уже сформировавшимися. Однако, и в Солнечной системе на её периферии (во внешнем облаке Оорта) могут быть объекты, "отнятые" у других звёзд или самостоятельно вращавшиеся вокруг центра Нашей Галактики. Исконные спутники планет движутся против часовой стрелки (при взгляде с северного полюса Земли), а захваченные - по-разному; они маленькие и чёрные [Хартман, 1990]. В Солнечной системе кометные ядра внешнего облака Оорта тоже движутся в самых разных направлениях, что заметно при появлении комет из этой периферийной части Солнечной системы.

Выделяется несколько групп спутников:

ближайшая к планетам; для неё характерны маленький и реже средний размер тел, "кучность", соотношения Боде обычно не соблюдаются, но могут и соблюдаться (особенно в периферийной части этого пояса); некоторые тела этой группы кружатся внутри колец или являются "пастухами" колец, а некоторые - близки к пределу Роша, где крупный спутник должен быть разорван приливными силами планеты; возможно, некоторые из этих спутников защищены от разрыва своими малыми размерами или уже представляют собой обломки разорвавшихся небесных тел (особенно, когда на одной орбите несколько подобных тел); эти тела аналогичны планетам земной группы; возможно, эту группу нужно разделить на две:

внутренняя часть - нестабильные спутники в кольцах или вблизи них, обломки на одной и той же орбите и т.п. (Адрастея и Метида у Юпитера; Новая луна, Атлас, Пандора, Прометей, Янус и Эпиметей у Сатурна; 7 - 8 ближайших у Урана; Наяда, Таласса, Деспойна и Галатея у Нептуна);

наружная часть - истинные аналоги планет земной группы, которые удалены от колец и подчиняются правилу Боде (Амальтея и Феба у Юпитера; Мимас, Энцелад и некоторые другие у Сатурна; Пук у Урана; Ларисса и Протей у Нептуна);

вторая по удалённости группа; обычно это крупные или средние по относительному размеру тела, для которых довольно чётко соблюдается правило Боде; аналогична планетам-гигантам;

третья по удалённости группа; имеется или открыта не у всех планет-гигантов; маленькие по размеру тела, которые вращаются в стандартном направлении и иногда "кучно" (соотношение Боде не соблюдается); аналогична малым планетам второго пояса или кометным телам внутренней части облака Оорта;

группа самых далёких спутников; маленькие по размеру тела, которые могут вращаться противоположно вращению планеты, иногда орбиты бывают сближенными (у Юпитера); орбиты бывают вытянутыми; плоскость орбиты тяготеет не к экватору планеты, а к плоскости орбиты планеты; группа аналогична телам внешней части облака Оорта; впрочем, истинной аналогии с облаком Оорта может и не быть из-за относительной близости других больших планет, которые дестабилизируют внешние части спутниковых систем (звезда от звезды отстоит относительно дальше). Эту группу обычно рассматривают вместе с предыдущей [Сурдин, 1998в].

**Периоды обращения планет вокруг своей оси**

Ближайшие к Солнцу планеты (Меркурий, Венера), по-видимому, сильно приторможены приливными силами Солнца и совершают оборот вокруг оси за десятки или сотни земных суток.

Значительно быстрее вращаются Земля и Марс (24 и 24,5 часа). Земля в протерозое вращалась ещё быстрее (18 часов), но на 6 часов приторможена Луной.

Планеты-гиганты характеризуются особенно короткими сутками - от 10 до 16 часов, причём быстрее всего вращаются самые массивные из них.

Плутон делает оборот за 6 суток. Это соответствует времени обращения вокруг него Харона. Плутон всегда повёрнут к Харону одной стороной, так как остановлен его приливными силами (это самая двойная планета Солнечной системы).

Значит, имеются одновременно несколько тенденций:

чем дальше от Солнца планета, тем она быстрее вращается вокруг своей оси;

чем массивнее планета, тем она быстрее вращается (спутникам труднее её приостановить своими приливными силами?);

чем ближе и массивнее спутники планеты, тем она медленнее вращается.

**Химические различия в составе планет, магнитные поля и внутреннее строение планет**

Различия между планетами земной группы и планетами-гигантами возникли уже в самом начале развития планетной системы, когда в результате сгущения газово-пылевого облака заканчивался процесс образования Солнца [Садил, Пешек, 1967]. Температура Солнца в это время повысилась до миллиона градусов (сейчас - 14 млн.), и в его ядре пошли термоядерные реакции. Помимо инфракрасных лучей, Солнце стало излучать видимый свет, под действием которого в пока ещё едином протопланетном облаке произошли огромные изменения.

Это протопланетное облако на всём протяжении, кроме мелких пылевидных частиц, содержало также свободные атомы и молекулы. Особенно много было водорода, значительно меньше гелия, а тяжёлые элементы присутствовали в ничтожных количествах. Давление солнечных лучей вытеснило водород и гелий из ближайших окрестностей Солнца, как это сейчас происходит с частицами кометных хвостов. В результате этого протопланетное облако вблизи Солнца потеряло основную массу и в процентном отношении обогатилось более тяжёлыми элементами (Fe, Si, O и другие). Здесь возникли планеты земной группы - не очень массивные, зато плотные [Садил, Пешек, 1967].

Вдали от Солнца солнечные лучи поглощались первичной туманностью и не влияли на атомы и молекулы лёгких элементов. Поэтому планеты-гиганты оказались такими массивными и содержащими преимущественно водород и гелий [Садил, Пешек, 1967]. Кроме того, эти массивные планеты смогли удержать водород и гелий в условиях относительно низких температур. Если к Земле, например, добавить эти элементы до уравнения их концентрации с солнечной, то Земля окажется массой с Юпитер [Блэк, 1991].

На ещё больших расстояниях от Солнца в результате гравитационного "слипания" мелких частиц возникло кометное облако. В условиях крайне низких температур здесь могли существовать свободные радикалы вроде CH, CN, CO, OH и т.п. В кометных ядрах мелкие твёрдые пылинки соединены в одно целое замёрзшими газами, которые начинают испаряться, если комета приближается к Солнцу.

В планетах земной группы вскоре после их образования началось нагревание за счёт радиоактивного распада некоторых тяжёлых элементов (в основном, урана, тория и радиоактивного калия) и за счёт тепла, выделяющегося при соединении свободных радикалов. Недра планет расплавились, и тяжёлые элементы (прежде всего - железо) опускались вглубь, формируя железные ядра, а оксиды кремния и другие относительно лёгкие вещества всплывали на поверхность, формируя мантию, верхний переостывший слой которой образовал тонкую кору. Аналогичные процессы шли и в недрах планет-гигантов, но их изначальный состав был другим.

Особенно плотным (для сравнительно малой массы) оказался Меркурий. У него самый большой относительный размер железного ядра и за счёт этого имеется слабое магнитное поле, хотя планета вращается медленно. У Венеры и Земли относительные размеры железных ядер меньше, ещё меньше - у Марса, причём, если у Земли и Венеры имеется слой жидкого железа на поверхности ядра, то у Марса такого жидкого слоя нет. Поэтому у Земли есть магнитное поле, а у Марса - нет. У Венеры тоже нет магнитного поля, но по другой причине - она уж очень медленно вращается вокруг оси.

Особенно малы относительные размеры ядер у планет-гигантов, причём это, вероятнее всего, не железные, а каменистые ядра. У Юпитера и Сатурна эти ядра окружены слоем металлического водорода (за счёт чего в сочетании с быстрым вращением имеются мощные магнитные поля). Уран и Нептун несколько менее массивны, и такого слоя у них нет. Магнитное поле Урана имеет иную природу: связано с раствором аммиака в воде (есть носители заряда - ионы аммония и гидроксила).

**Источники энергии в солнечной системе**

Солнце - основной источник энергии на поверхности тел Солнечной системы.

Энергия планетных недр - для температурного баланса на поверхности тел имеет весьма ограниченное и, как правило, локальное значение (вблизи вулканов в моменты извержений), но приводит в движение механизм тектоники плит и потому преобразует облик Земли; имеет также значение для Юпитера, Сатурна, Нептуна, Венеры и, возможно, для некоторых других крупных небесных тел.

Энергия вращения планет в сочетании с солнечной энергией приводит в движение атмосферу, создаёт магнитное поле и, возможно, корректирует тектонику плит; особенно большое значение имеет для планет-гигантов.

Энергия приливов - имеет существенное значение для крупных и близких спутников Юпитера, вызывая вулканизм (Ио) или менее значительный разогрев недр (Европа). Энергия приливов обусловлена вращением небесных тел или их орбитальным движением, а потому не самостоятельна.

Энергия столкновений небесных тел (энергия их орбитального движения) - основная энергия, меняющая облик поверхности большинства мелких и среднеразмерных тел Солнечной системы (Меркурий, Марс, Плутон, Луна и многие другие спутники планет, а также астероиды и кометные ядра).

**Климат на планетах и непрерывно обитаемая зона**

Не только расстояние от планеты до Солнца, но и особенности обмена углекислым газом между атмосферой и сушей объясняют, почему Венера лишилась воды и раскалилась, Марс замёрз, а Земля осталась пригодной для жизни [Кастинг и др., 1988].

Для земной атмосферы характерен буферный эффект, регулирующий её температуру. Обратная связь обеспечивается карбонатно-силикатным геохимическим циклом (см. главу о Земле), отвечающим за 80% обмена углекислым газом. 20% обмена обеспечены растениями (фотосинтез забирает углекислый газ, а при дыхании и гниении он выделяется). Если бы не живые организмы, усваивающие известь в океане, известь бы осаждалась на дне сама, но при чуть большей концентрации углекислого газа в атмосфере и извести в океане. Температура атмосферы была бы на 10% выше, но катастрофы бы не было. Итак, не жизнь главное, а силикатно-карбонатный цикл!

На Марсе круговорот углекислоты был нарушен, и вся известь оказалась в горных породах. Марс замёрз в первую очередь не из-за удалённости от Солнца, а из-за своего маленького размера. Именно из-за этого не было тектоники плит, и углекислый газ не выделялся в атмосферу. Значит, не было и парникового эффекта. Марс теоретически может оживать лишь на какое-то время после ударов гигантских метеоритов или извержений вулканов (когда в атмосферу поступает сразу много углекислого газа). Если бы Марс был массивней, то был бы обитаем. Он мог быть обитаем и в далёком прошлом, когда ещё не остыл. В далёком будущем он тоже на какое-то время сможет "ожить" из-за увеличения светимости Солнца.

На Венере из-за близости к Солнцу (из-за фотодиссоциации воды) улетучился водород, не стало воды, углекислый газ перестал с дождями вымываться и весь скопился в атмосфере. Без углекислого газа Венера была бы холоднее Земли. Не исключено, что на ранних этапах своего развития (до полной фотодиссоциации воды) Венера была пригодной для жизни.

Непрерывно обитаемая зона в Солнечной системе расположена от 0,95 до 1,5 а.е.; в ней - Земля и Марс [Кастинг и др., 1988].

Обитаемы могут оказаться и некоторые спутники планет (например, Европа, где под слоем льда в океане могут обитать хемосинтетики) - за счёт разогрева недр приливными силами.

Светимость Солнца возрастает на 1% каждые 100 миллионов лет, и через 1 миллиард лет с Земли начнёт исчезать вода. Разогрев планеты будет отсрочен карбонатно-силикатным циклом, но лишь на какое-то время.

Как уже говорилось, недавно делались заявления об "открытии" следов живых организмов в метеоритах и широком распространении жизни на планетах Солнечной системы в прошлом [Жмур и др., 1997]. Таким образом, существуют две принципиально различные крайние точки зрения на жизнь во Вселенной.

Во-первых, иногда считается, что жизнь - очень редкое явление, для её возникновения и поддержания требуется уникальная комбинация условий: жидкая вода, изначальный концентрированный раствор органических веществ абиогенного происхождения, умеренный приток солнечной и т.п. энергии, атмосфера с озоном, умеренным количеством углекислого газа и т.п., тектоника плит, силикатно-карбонатный цикл, длительное существование стабильных условий и т.п. Согласно этой точки зрения, жизнь не может переноситься с планеты на планету (иначе как на космических кораблях, то есть при наличии разума). Земля - это уникальная планета и в Солнечной системе, и в ближайшем звёздном окружении Солнца, и, возможно, в Нашей Галактике, а то и во Вселенной...

Сторонники противоположной точки зрения готовы видеть жизнь везде: на Венере в прошлом, на Марсе (на поверхности в полосе таяния полярных шапок, в глубине грунта в других местах, а также везде на поверхности в прошлом), подо льдом на Европе - спутнике Юпитера. Есть представления, что воду при низких температурах может заменить другой растворитель (жидкий аммиак, сера и т.п.), а вместо углеродных цепочек могут быть кремниевые или какого-то иного состава химические цепи. Жизнь на иной химической базе может развиваться и в концентрированных газах. Тогда населены могут быть атмосферы планет-гигантов и некоторые их спутники, а также исходное газово-пылевое облако вокруг Солнца... Споры, семена и т.п. образования могут якобы переноситься с планеты на планету и в результате давления света, и в метеоритах, вышибленных с планет во время столкновений со значительными небесными телами.

Пока полёты автоматических аппаратов на Венеру и Марс не порадовали сторонников второй точки зрения. Марс, однако, в этом отношении не исчерпан, и большие надежды возлагаются на полёт человека в первом-втором десятилетии XXI века. Важен также сам факт существования в течение нескольких дней разумной жизни на Луне. Значит, благодаря разуму, жизнь может переноситься с одного небесного тела на другое. Кстати, американские космонавты, осматривая обшивку ранее запущенного на Луну автомата, обнаружили занесённую с земли колонию бактерий. Бактерии питались этой обшивкой и уцелели под жёсткими космическими лучами солнечного и галактического происхождения.