**Новые данные о спутниках больших планет**

В.С. Уральская

ГАИШ

К началу 2004 г. у больших планет известны 136 спутников. Земля имеет один спутник - Луну, Марс - 2 спутника, Юпитер - 61, Сатурн - 31, Уран - 27, Нептун - 13, Плутон - 1.

Самым главным из всех спутников планет является Луна. Она движется вокруг Земли на среднем расстоянии 380000 км. Радиус Луны равен 1700 км. Ее масса составляет 1/81 часть массы Земли. У Меркурия и Венеры спутников не обнаружено.

Вокруг Марса на почти круговых орбитах в плоскости экватора планеты обращаются два спутника - Фобос и Деймос. Фобос - весьма вытянутое тело, имеющее размеры 26х22х18 км. Деймос тоже вытянут, его размеры 15х12.4х10.8 км. Радиус орбиты Фобоса - 9400 км, Деймоса - 23500 км. Для сравнения напомним, что радиус Марса составляет 3400 км.

У планет-гигантов Юпитера, Сатурна, Урана и Нептуна обнаружено большое количество спутников. По расположению в планетных системах спутники можно условно разбить на три основные группы. Это главные спутники, внутренние спутники, находящиеся ближе к планете, чем главные спутники, и внешние спутники в системе планеты.

Внутренние спутники - это малые тела неправильной формы и размерами несколько километров, которые образовались в результате столкновений или бомбардировки астероидами более крупных спутников. Они расположены во внутренних областях планетных систем, часто в области колец, иногда попадая в область главных спутников до расстояний 20000 км. К ним относятся 4 внутренних спутника Юпитера (Метида, Адрастея, Амальтея и Теба), 9 малых внутренних спутников Сатурна (Пан, Атлас, Прометей, Пандора, Эпиметей, Янус, Телесто, Калипсо и Елена), 13 внутренних спутников Урана (Корделия, Офелия, Бианка, Крессида, Дездемона, Джульетта, Портия, Розалинда, Белинда, Пак, а также S/2003 U1 и U2 и S/1986 U10) и 6 спутников Нептуна (Наяда, Таласса, Деспина, Галатея, Ларисса и Протей).

Главные спутники располагаются в области от 20000 км до 2 млн км, их размеры от 500 до 5000 км. Они образовались одновременно с планетами из протопланетного облака и имеют регулярные орбиты - почти круговые, расположенные в плоскости экватора планеты. В системе Юпитера это 4 Галилеевы спутника (Ио, Европа, Ганимед и Каллисто), 8 главных спутников системы Сатурна (Мимас, Энцелад, Тефия, Диона, Рея, Титан, Гиперион и Япет), у Урана 5 основных спутников (Миранда, Ариэль, Умбриэль, Титания и Оберон). Самый крупный спутник Нептуна - Тритон - движется по круговой орбите в плоскости экватора Нептуна, но в обратном направлении по отношению к вращению планеты.

Внешние спутники находятся на орбитах от 2 до 50 млн. км и имеют диаметры порядка нескольких км. Для них характерны неправильная форма и нерегулярные орбиты - вытянутые эллиптичные орбиты с различными наклонами к плоскости экватора планеты, причем многие из внешних спутников имеют обратные движения по отношению к вращению планеты. Их расположение во внешних областях планетных систем указывает на возможный захват этих тел из межпланетного пространства. На интервале времени, сравнимом с возрастом Солнечной системы (4.5 млрд лет), они не подвергались существенным изменениям и поэтому сохранили информацию о ранних стадиях формирования Солнечной системы. Изучение их природы, состава, эволюции их орбит приблизит нас к пониманию основного сценария происхождения Солнечной системы.

Граница существования спутников определяется областью гравитационного притяжения планеты, известной как сфера Хилла. Для Юпитера радиус сферы Хилла составляет 740 радиусов Юпитера, примерно 0.35 а. е. или 50 млн км. Для Нептуна радиус сферы Хилла составляет 86.8 млн км.

За последнее десятилетие открыты 75 новых спутников. Так, в системе Юпитера вместо 8 стало известно о существовании 53 далеких нерегулярных спутников. Самые далекие из них на обратных орбитах имеют большие полуоси, составляющие 0.8 радиуса сферы Хилла. Сначала спутники получают временные обозначения, например S/2000 J1. После уточнения орбиты ему присваивается порядковый номер спутника и предлагается название.

Все спутники Юпитера названы именами из греко-римской мифологии и связаны с Юпитером-Зевсом. Согласно принятым МАС соглашениям спутники с прямым движением получают наименования (главным образом латинские), оканчивающиеся на -а или -о, а названия спутников с обратным движением (в основном греческие) имеют окончания -е. В русском языке встречаются двоякие написания греческих имен, например, Тайгета и Тайгете, Иокаста и Иокасте и др. Однако, как уже указывалось, для спутников с обратным движением утверждены названия с окончанием -е, а именно, Тайгете, Иокасте, Калике, Эриноме и т. д.

Из характера движения внешних нерегулярных спутников Юпитера видно, что все они подразделяются на особые группы или семейства [1]. Ближе к галилеевым спутникам располагаются спутники с прямым движением, которые можно условно разделить на три группы. Первая группа, Фемисто, включает в себя один спутник по имени ее единственного члена. Он движется в прямом направлении на орбите со средним расстоянием 7 млн км от Юпитера и наклоном. Вторая группа содержит 5 спутников, которые имеют средние расстояния порядка 11 млн км и наклоны около к плоскости экватора планеты, то есть имеют прямое движение. Это так называемая группа Гималии, в которую также входят Элара, Лиситея, Леда и S/2000 J11. Третья группа также содержит пока один спутник S/2003 J20 с большой полуосью 17 млн км и наклоном. Спутники с обратным движением также объединяются в три или четыре самостоятельные группы, которые названы по именам наиболее крупных членов в них. Это группа Ананке с большими полуосями 18-21 млн км и обратным движением на орбитах с наклонами - (Эвпорие, Иокасте, Эванте, Гарпалике, Праксидике, Ортозие, Гермиппе, Ананке, Тионе и S/2003 J3, J12, J21, J18, J6, J16, J15 и J4). Группа Карме включает в себя спутники с большими полуосями орбит 22-24 млн км и наклонами -. В нее входят Пазифее, Исоное, Кале, Эвридоме, Эриноме, Тайгете, Халдене, Карме, Этне, Калике, а также S/2002 J1, S/2003 J17, J11, J9, J19, J10, J1 и J5. Шестая группа, Пасифе, характеризуется средними расстояниями 23-28 млн км и наклонами - и включает Пасифе, Спонде, Мегаклите, Синопе, Каллирое, Автоное, а также S/2003 J2, J8 и J14. Может быть, и Синопе тоже имеет свое семейство спутников. В каждую динамическую группу входят один крупный родительский спутник с размерами, превышающими 14 км, и множество маленьких спутников с размерами не более 4 км. Разброс скоростей между членами одной группы сравним со скоростью отрыва от родительского тела, которая для спутников с обратным движением составляет 30 м/с. Различие в скоростях между родительскими телами в различных группах составляет 200 м/c. Такое распределение спутников по динамическим группам говорит о том, что они образовались в результате столкновений на ранних стадиях развития Солнечной системы. Отсутствие спутников в промежуточной области наклонов орбит соответствует теоретическому выводу, согласно которому спутники с этими наклонами должны мигрировать в область галилеевых спутников, пополняя их массы.



Одним из результатов миссии космического аппарата (КА) Галилео к Юпитеру является обнаружение малых объектов вблизи пятого спутника Юпитера - Амальтеи. При сближении КА Галилео с Амальтеей звездный сканер на его борту обнаружил 9 тел, но два из них могли быть дубликатами увиденных ранее. По-видимому, эти объекты размерами менее 5 км либо были захвачены на орбиты вокруг этого спутника, либо превратились в спутники в результате прошлых соударений. Ограниченные данные не позволили определить их точные положения.

В 2000-2003 гг. открыты 13 новых далеких нерегулярных спутников в системе Сатурна. До этого был известен только один внешний спутник с обратным движением - Феба - диаметром 220 км. Новые луны Сатурна имеют размеры от 5 до 40 км. Внешние спутники Сатурна также обнаруживают склонность к группированию в определенные семейства с определенным характером движения. Были проведены классификация спутников и качественное исследование эволюции их орбит [2]. Четыре спутника - Пааляк, Сиарнак, Кивьюк и Иджирак - движутся на прямых орбитах с наклонами около. Эволюция орбит Кивьюк и Иджирак характеризуется колебанием долготы перицентра около некоторого значения, что является редким случаем в движении спутников. Этот результат подтвержден численным исследованием. Движение спутников Пааляк и Сиарнак соответствует циркуляционному изменению этого элемента, то есть постоянному увеличению или уменьшению его величины. Вторая группа объединяет спутники Тарвос, Эрьяпо и Альбиорикс с наклонами и большими полуосями 16-18 млн км и имеет циркуляционнные изменения аргумента перицентра и долготы восходящего узла. Семь спутников Имир, Фрим, Скади, Мундильфари, Суттунг, включая Фебу и S/2003 S1, имеют обратные орбиты. Их эволюция характеризуется монотонным возрастанием аргумента перицентра и долготы восходящего узла и долгопериодическими колебаниями эксцентриситетов и наклонов.



До 1997 г. система Урана казалась самой упорядоченной. Пятнадцать спутников движутся на почти круговых орбитах в плоскости экватора планеты, которая наклонена к плоскости орбиты Урана под углом. Не было известно ни одного нерегулярного спутника, сейчас открыто восемь на расстояниях от 4 до 20 млн км. Первые два внешних спутника, Урана Калибан и Сикоракса, были открыты в 1997 г. на Паломарской обсерватории. В 1999 г. стало известно о существовании трех далеких спутников Урана - Просперо, Сетебос, Стефано. В 2001 г. открыты еще три далекие спутника Урана - Тринкуло, S/2001 U2 и U3. Все внешние спутники Урана движутся на вытянутых, сильно наклоненных орбитах с обратным движением. Исследование эволюции их орбит с учетом возмущений от Солнца показало, что возможно образование различных типов орбит - от небольших колебаний формы и размера орбит до столкновения с центральным телом на интервалах времени порядка нескольких десятков тысяч лет. Кроме того, орбиты спутников пересекаются друг с другом, и существует вероятность близкого взаимного прохождения спутников. В 2003 г. интересные открытия в области внутренних спутников Урана были совершены с помощью телескопа Хаббла. Один спутник S/2003 U1 диаметром 16 км был открыт между орбитами Пака и Миранды на расстоянии 97700 км от центра Урана. Второй спутник S/2003 U2 (12 км) находится внутри орбиты Белинды на расстоянии 74800 км от центра планеты. Также с помощью телескопа Хаббла произошло переоткрытие спутника S/1986 U10 (40 км), впервые обнаруженного в 1999 г. по фотографиям, полученным космическим аппаратом Вояджер в 1986 г., то есть через 13 лет после получения снимков. Его расстояние от Урана составляет в среднем 76400 км. Третий спутник S/2003 U3 (11 км), открытый в 2003 г., принадлежит к внешним спутникам, находится на расстоянии 14 млн км от Урана и единственный из далеких спутников движется в прямом направлении.



В системе Нептуна самый крупный спутник Тритон, находящийся близко к планете, движется по круговой орбите в обратном направлении по отношению к вращению планеты. Это единственный случай такого аномального движения в Солнечной системе, все остальные крупные спутники имеют прямые движения. До последнего времени был известен только один далекий нерегулярный спутник - Нереида, находящаяся на сильно вытянутой орбите с эксцентриситетом 0.75 и средним расстоянием 5 млн км. Астрономы предвычислили, что должна существовать значительная группа малых спутников с обратным движением на орбитах вне Тритона с большой полуосью свыше 0.5 млн км [3]. Нереида, возможно, является самым крупным из небольшой группы спутников с прямым движением. Более значительным должно быть семейство спутников с обратным движением. Усилия многих наблюдателей были направлены на поиск далеких спутников Нептуна, и в 2002 г. этот поиск увенчался успехом. На 4-метровом телескопе в Чили группой астрономов Гарвардско-Смитсонианского Центра астрофизики были открыты четыре внешних спутника Нептуна, в 2003 г. - еще один. Они находятся гораздо дальше от Нептуна, чем Нереида, на расстояниях от 16 до 50 млн км. Все орбиты спутников сильно вытянуты с эксцентриситетами от 0.2 до 0.6. Два спутника S/2002 N2 и N3 размерами 30 км имеют прямое движение, три спутника S/2002 N1 (50 км), S/2002 N4 (60 км) и S/2003 N1 (35 км) движутся в обратном направлении. Периоды обращений составляют от 7 до 25 лет, в то время как Нереида обращается вокруг Нептуна за 1 год.

Планета Плутон имеет уникальный спутник Харон. Его радиус всего в два раза меньше радиуса самой планеты. Радиус Плутона - 1200 км, Харона - 600 км. Радиус почти круговой орбиты Харона составляет около 20000 км, что заставляет рассматривать эту систему как двойную. Все спутники планет, для которых имеются данные по вращению, вращаются синхронно с орбитальным движением, то есть период вращения спутника вокруг оси равен периоду обращения спутника вокруг планеты. В результате спутник всегда обращен к планете одной и той же стороной, как и Луна, по отношению к Земле. Ось вращения спутника всегда перпендикулярна плоскости его орбиты. Исключение составляет Гиперион, вращение которого хаотично. Ничего не известно о вращении далеких внешних спутников планет.