



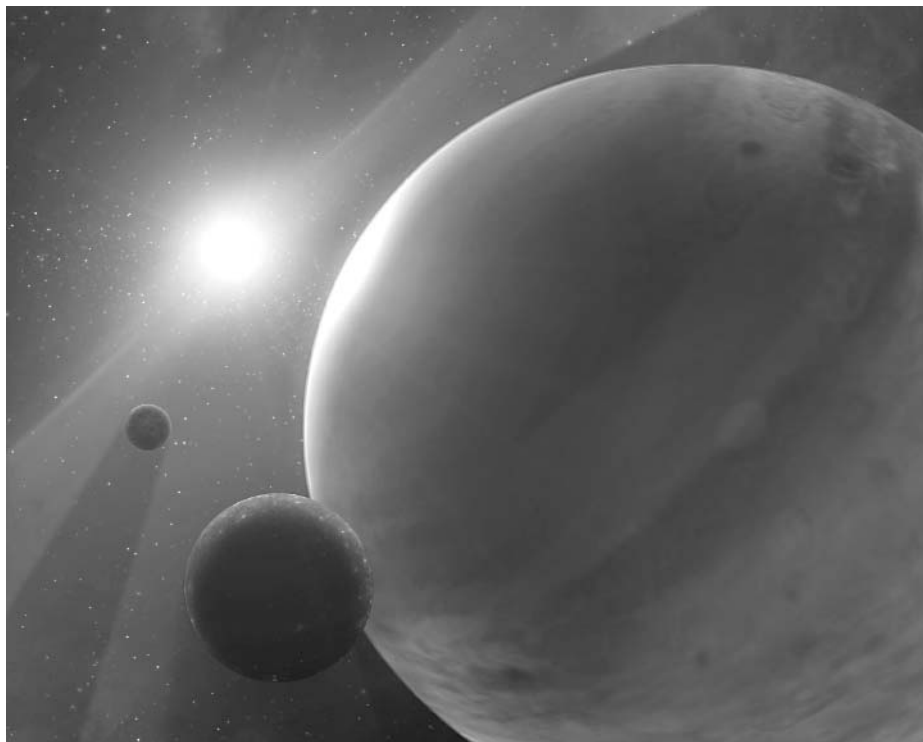
Открытие и изучение внесолнечных планет — увлекательнейшая глава современной науки. Она почти так же увлекательна, как попытки поймать в космосе сигналы других разумных существ. В сущности, поиск планет около других звезд — это продолжение такого поиска других цивилизаций в космосе, а может быть, наоборот, вступление к нему. Ведь каждый шаг в изучении внесолнечных планет продвигает науку ко все более уверенному ответу на вопрос, существуют ли в космосе условия для появления таких цивилизаций или же мы, человечество на Земле, одиноки во Вселенной.

Увы, планеты около других звезд, разумеется, нельзя увидеть напрямую, ни в какой телескоп. Ученые обнаруживают их двумя косвенными путями. Один из этих путей основан на том, что массивная планета оказывает гравитационное влияние на свою звезду, заставляя ее немного менять свою траекторию. Эти покачивания выдают не только наличие невидимой планеты, но и ее массу. Второй способ зависит от везения: если планета, обращаясь вокруг своей звезды, пересекает луч, идущий от звезды к Земле, то свет звезды чуть ослабляется. По величине этого ослабления можно судить не только о существовании планеты, но

и о ее размерах, а зная (из покачиваний) ее массу, можно вычислить плотность планеты, а также некоторые другие ее характеристики. К сожалению, из почти двухсот открытых к настоящему времени внесолнечных планет только 11 удалось «поймать на горячем», когда они слегка затмевали жаркое личико своей звезды.

Самое недавнее такое везение выпало на долю группы астронома Бакоса из Массачусетса. Они заметили периодическое ослабление света некой солнцеподобной звезды, расположенной в 450 световых годах от Солнца. Каждые 4,5 дня яркость звезды уменьшалась на 1,5%. Из этого следовало,

что вокруг звезды каждые 4,5 дня совершает полный оборот какая-то планета. Величина ослабления звездной яркости позволила определить размеры этой планеты. Она оказалась огромной — на треть больше нашего гиганта Юпитера. Применяв к ней метод гравитационного покачивания, группа Бакоса установила, что масса планеты, наоборот, слишком мала — она вполтину меньше массы Юпитера. Из этих данных следовал поразительный вывод: плотность новооткрытой планеты составляет всего четверть плотности воды. Если бы эту планету можно было погрузить в океан, она бы поплыла по нему, как надувной плот.



Тут самое время заметить, что это не первая такая «надувная» планета. 7 лет назад была открыта другая того же рода. Тогда это показалось исключением из правил, но теперь, когда на 11 обследованных случаев «затмения звезды» таких планет обнаружено две, можно (с осторожностью) говорить о правиле: в космосе есть планеты, раз-

меры которых «слишком раздуты», то есть намного превышают то, что предписывает теория образования больших планет. Такую «раздутость» можно объяснить наличием какого-то внутреннего источника энергии, дающего сильное тепло, от которого планета вспухает как на дрожжах.

Одним таким источником могут быть приливные волны, прокатывающиеся внутри планеты в силу ее очень близкого расположения к своей звезде

(период обращения всего в 4,5 дня как раз указывает на такую близость). Но расчеты астрономов показали, что приливной механизм «надувания» требует особо вытянутой орбиты или особого наклона оси планеты. Ни того, ни другого указанные две планеты не имеют. Другим источником тепла могло бы быть разделение гелия и водорода в атмосфере планеты-гиганта: более тяжелый гелий, опускаясь вниз, выделял бы энергию, которая нагревала бы и раздувала оболочку планеты, но почему этот механизм работает только в данных двух планетах, а не во всех.



Загадка может иметь и более простое (или более сложное — смотря с какой стороны взглянуть) решение. Она может свидетельствовать, что нынешняя теория образования планет является неполной и потому неспособна предсказать существование «надутых» планет. Такой вывод заставляет присмотреться к теории. Сейчас это легче сделать, чем пару десятилетий назад. Теперь, когда открыто уже около 200 внесолнечных планет, теория их образования покоится на более прочной статистической основе, чем раньше, когда известно было только восемь планет нашей Солнечной системы. Вот как характеризует современную теорию планетообразования известный планетолог-теоретик Грегори Лафлин в одной из своих последних статей.

Все начинается в огромном, довольно плотном и очень холодном облаке межзвездной пыли и газа. Под влиянием собственной тяжести это облако все время стремится стянуться к центру. Как говорят, оно гравитационно неустойчиво. Мешает такому «провалу в себя», или коллапсу, наличие в облаке заряженных частиц, которые при своем движении создают магнитные поля. Магнитные поля внутри облака препятствуют его сжатию, но только до поры до времени.

Некоторые облака оказываются так велики, что их тяжесть преодолевает упрямство магнитных полей, эти облака начинают сжиматься, нагреваться, и в их глубинах рождается звезда. Вокруг нее обращается огромный диск — остаток бывшего облака. Такой диск и становится со временем местом рождения планет. Сегодня такие «протопланетные» диски обнаружены уже вокруг очень многих звезд, и считается, что там, где есть диск, со временем будут, а может, уже и есть скрытые внутри диска планеты.

Имеющиеся на сегодняшний день теоретические расчеты приводят к выводу, что существует два способа формирования планет в таком протопланетном диске. Во-первых, планеты могут возникать за счет гравитационной неустойчивости. Чем больше плотность вещества диска, тем вероятнее, что в каких-то его местах противодействие местных магнитных полей будет преодолено гравитацией и здесь образуются первые уплотнения, сгустки вещества, зародыши будущих планет. Беда, однако, в том, что при таком сжатии вещество зародыша разогревается и стремится разлететься, рассеяться обратно. При образовании звезды сжимающаяся масса была настолько огромна, что могла преодолеть рост температуры (и все равно в центре та достигала миллиардов градусов), но остатки газа в диске не могут создать таких огромных сгустков. А сильное сжатие небольшого сгустка (вплоть до образования плотной планеты) требует непрерывного — и очень эффективного — отвода внутреннего тепла. В космических условиях это случается редко, и поэтому теоретики склонны сегодня считать, что, как правило, гравитационный коллапс малых сгустков не достигает завершения. Иными словами, планеты не конденсируются напрямую из протопланетного диска путем гравитационного сжатия. Скорее всего, они образуются другим путем.

Этот другой путь, указываемый теорией, называется «наращиванием ядра» (core-accretion). Сначала образуется некое малое скопление — что-

то наподобие комка пыли, грязи и волос, который можно обнаружить, отодвинув диван в комнате. Особенность таких скоплений — в их больших размерах сравнительно с небольшой массой. Эти размеры позволяют стустку все время захватывать новые и новые пылинки и тем самым непрерывно расти. Теория планетообразования исходит сегодня из предположения, что в протопланетном диске тоже образуются такие первичные «комки», или «ядра», но пока не может объяснить, как именно они образуются. Дело в том, что, будучи чуть более плотными, чем окружающий газ и пыль, они должны двигаться чуть быстрее, а это вызывает встречный «ветер», который стремится их разрушить. Как

температура поднимается до нескольких десятков градусов Кельвина. Поэтому на определенном расстоянии от звезды в диске возникают условия, когда молекулы воды, входящие в состав планетезималей, уже превращаются в лед, но вещества в этом месте еще достаточно много, чтобы планетезимали были довольно плотными. Такое расстояние называется «границей льда».

Это очень важная граница. Именно здесь образуются большие и достаточно плотные планетезимали, состоящие частично из слипшихся пылинок (то есть из камня), а частично — из льда. Такая неоднородная структура приводит к тому, что при столкновении друг с другом эти планетезимали не разле-



они выживают, непонятно. Некоторые теоретики думают, что этому как-то помогают «водовороты», точнее, «газовороты» внутри диска, другие думают, что такой зародыш планеты образуется все-таки посредством небольшого «гравитационного коллапса», но, достигнув размера в несколько километров, перестает сжиматься и продолжает расти уже только за счет «наращивания», то есть притягивания к себе окружающего вещества.

Как показывают расчеты, примерно через 100 тысяч лет после образования диска, то есть почти одновременно с образованием звезды, в нем могут существовать триллионы (!) таких километровых зародышей, или, как их называют, планетезималей. Их так много, что они неизбежно должны сталкиваться друг с другом. Результат соударений зависит от расстояния до центральной звезды. Эта звезда разогревает диск, и даже на его окраинах

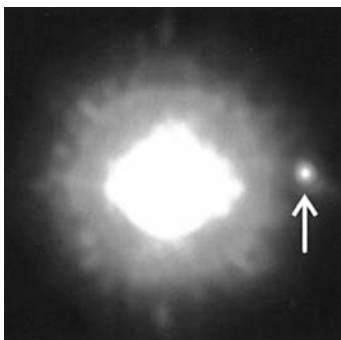
таются, как разлетелись бы упругие каменные шары, а частично крошатся, частично слипаются друг с другом, точно два комка глины. В результате на «границе льда» возникают условия для быстрого роста планетезималей за счет столкновений и слипаний, и в конце концов в этом районе образуется несколько особенно удачливых планетезималей, которые достигают размеров в тысячи километров.

Теперь они уже способны притягивать к себе планетезимали поменьше, продолжают расти за счет такого притяжения, пока их масса не станет в 7—10 раз больше массы Земли. С этого момента, по расчетам, ядра начинают энергично притягивать к себе окружающий газ, каждое ядро быстро окутывается газовой оболочкой протяженностью в сотни тысяч километров, и вот уже перед нами — планета-гигант, что-то вроде Юпитера или Сатурна.

Однако теперь в ее биографии начинается новый этап борьбы за выживание. Дело в том, что движение такого гиганта по орбите, вдоль которой все еще сохраняются остатки газа и пыли, приводит к образованию волн вещества, которые тянутся за ним, как волны «усы» за идущим в воде кораблем. Но поскольку весь диск как целое вдобавок еще вращается вокруг звезды, эти «усы» изгибаются, заворачиваются и создают две силы — одна толкает новорожденную планету внутрь диска, все ближе к звезде, другая, напротив, выталкивает ее в наружные слои, на периферию. Как правило, первая сила больше, и дело кончается тем, что планета по спирали падает на звезду и сгорает. Возможно, так кончат свою жизнь большинство образующихся в дисках планет. Но поскольку астрономы уже обнаружили около двухсот существующих планет, это говорит, что некоторые все-таки выживают. Как это происходит, теоретики пока ответить не могут, но сам этот факт, а также численное обилие уже обнаруженных «выживших» планет говорят о распространенности планетообразования во Вселенной и дают астрономам достаточный материал для некоторых важных статистических выводов.

Вот основные из них. Во-первых, практически все открытые планеты — это «Юпитеры» по своим массам, размерам и строению (то есть газовые гиганты с большим твердым ядром внутри). Во-вторых, они четко делятся на два типа — «Горячие Юпитеры» и «Эксцентричные гиганты». Первые обращаются в тесном соседстве со своими звездами (много ближе, чем Меркурий от Солнца, то есть почти касаются огненной фотосферы звезды), совершают полный оборот вокруг звезды за считанные дни, а то и часы (!) и раскалены до нескольких тысяч градусов. Вторые имеют очень вытянутую («эксцентричную») орби-

ту, так что изредка приближаются к своим звездам, но большую часть времени находятся дальше от нее, чем самые далекие тела нашей Солнечной системы. Ни те, ни другие планетные системы не похожи, таким образом, на нашу. Но это не значит, будто ими исчерпываются все виды возможных планет во Вселенной. Ведь почти все эти планеты открыты методом «покачивания», а этот метод, увы, лучше всего приспособлен как раз для обнаружения планет с большими массами и малыми периодами обращения. Стало быть, существование малых, твердых, землеподобных планет отнюдь не исключено.

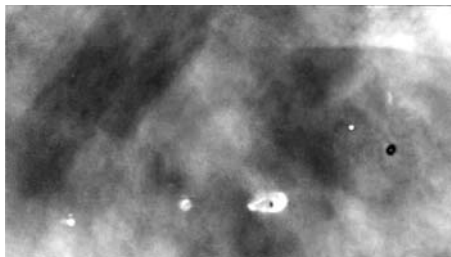


Определенные факты говорят в пользу существования таких планет. Одним из таких фактов является связь планетообразования около той или иной звезды с ее «металличностью», то есть с содержанием в ней тяжелых химических элементов («металлов»). Статистика

уже открытых планет показывает, что вероятность обнаружения планеты около звезды с тем же содержанием металлов, что и в Солнце, составляет 5%, а у звезд с вдвое большей «металличностью» — уже 25%. Объяснение простое: повышенная «металличность» звезды говорит о том, что первичное облако, из которого она образовалась, содержало много металлов, то есть твердых частиц. А это, понятно, способствует образованию твердых планетных ядер. В таких облаках они образуются быстрее, а потому успевают затем притянуть к себе достаточное количество газа.

Другой статистический факт состоит в том, что у самых распространенных в нашей галактике звезд — красных карликов (масса которых меньше половины солнечной, а температура поверхности много ниже) — обнаружены самые малые из всех открытых доселе внесолнечных планет размером не с Юпитер и даже не Сатурн, а

ближе к нашему Нептуну, который всего в несколько раз больше Земли. Это тоже понятно: облака, из которых образуются такие карлики, были изначально много меньше и рассеивались тоже быстрее, не оставляя поэтому ни времени, ни вещества для формирования «Юпитеров». Суммируя эти и другие факты, Лафлин, например, предсказывает, что типичная планетная семья в нашей галактике должна иметь в центре звезду типа красного карлика, вокруг которого в пределах до нескольких астрономических единиц обращается несколько землеподобных планет, а дальше — несколько нептунopodobных планет.



Заметим, что астрономы уже обнаружили к настоящему времени около 10 звезд не с одной, а с несколькими планетами около них, но пока это только планеты типа горячих «Юпитеров» или эксцентричных гигантов.

В каком-то смысле предсказание Лафлина о преобладании в космосе нептунopodobных планет уже подтверждается. Так, в мае 2006 года группа астрономов во главе с К. Ловисом сообщила об открытии возле солнцеподобной звезды HD69830 сразу трех планет с массой от 10 до 18 земных (то есть нептунopodobных), которые обращаются вокруг нее по круговым орбитам в пределах одной астрономической единицы. Поскольку это расстояние меньше «границы льда», можно думать, что эти планеты образовались много дальше от своей звезды, а затем, под влиянием различных сил и собственных взаимодействий, мигрировали внутрь, ближе к ней. Такое взаимодействие планет должно быть очень распространенным явлением в планетных семьях, и

некоторые астрономы полагают, что наши Юпитер и Сатурн тоже образовались в других местах Солнечной системы и лишь затем мигрировали на свои теперешние орбиты. Нынешняя теория планетообразования еще не способна до конца рассчитать эти процессы, и это значит, что астрономов еще могут ожидать большие сюрпризы. Тем более важно поэтому накопление все нового статистического материала.

И он накапливается. В настоящее время развернуто систематическое наблюдение более 5 тысяч звезд, около которых астрономы надеются обнаружить внесолнечные планеты. А совсем недавно, в октябре 2006 года, космический телескоп Хаббла впервые обнаружил сразу 15 «кандидатов в планеты» в совершенно уж неожиданном месте — около карликовых звезд в центре нашей галактики, в 30 тысячах световых лет от Солнца (все прежние внесолнечные планеты были найдены около близких к Солнцу звезд), причем пять из них совершают полный оборот вокруг своих звезд меньше чем за один день.

Ну и наконец, в скором времени должны быть запущены, как мы уже писали\*, два спутника — «Коро» и «Кеплер», специально предназначенные для одновременного наблюдения звездных «затмений» и «покачивания», вызванных именно небольшими землеподобными планетами. Есть шанс, что в результате этого широкого наступления будут наконец открыты и другие «Земли». Конечно, наша собственная Земля слишком мала, чтобы ее воздействие на Солнце было подмечено с большого расстояния, но, например, землеподобная планета вблизи карликовой (более холодной) звезды должна обращаться гораздо ближе к ней, чтобы быть «биологически перспективной», а находясь ближе, она и покачивания будет вызывать побольше, чем Земля у Солнца. Так что не исключено, что в каком-то из будущих поисков ее обнаружат.

\* См. «3-С» — 6/2006, с. 60