

Леонов И.

# ПЛАНЕТЫ ИГРАЮТ В ПРЯТКИ

Существуют ли кометы и астероиды в других планетных системах?

Никто пока не определил, всякая ли звезда в Галактике окружена другими планетами, либо Солнце является исключением из данного правила. За последние 9 лет астрономы при наблюдении за колебательными движениями звезд, которые вызваны воздействием, оказываемым на них планетами, обнаружили сотни таких планет. Но этот метод помогает фиксировать лишь самые массивные планеты, находящиеся неподалеку от звезд. Так можно обнаружить Юпитер, Сатурн в Солнечной системе, но мелкие тела (кометы, астероиды, планеты земного типа), делающие Солнечную систему такой разнообразной, астрономы бы не смогли найти, используя эти методы наблюдения.

Каким же образом все-таки можно их найти для воссоздания полной картины? Глядя в весеннее время на небо в западной его части после того, как Солнце зашло за горизонт, можно обнаружить область со слабым свечением, которая простирается от горизонта вверх. Зодиакальный свет возникает при отражении от частиц межпланетной пыли лучей солнечного света. Это яркий треугольник, вытянутый по форме по направлению траектории движения Солнца. Из этого можно сделать вывод, что облако пыли в форме диска лежит в плоскости орбиты нашей планеты. Однако наличие самой этой пыли является загадкой, поскольку ее частицы настолько малого размера (по оценкам специалистов, 20-200 мкм), что световое давление вообще-то должно заставить крупнейшие из них упасть на Солнце, а затем сгореть. Самые мелкие частицы должны быть выметены давлением света за пределы Солнечной системы. По этой причине присутствие межпланетной пыли объясняется только тем, что она постоянно пополняется.

Многие астрономы считают, что частицы образуются при столкновениях астероидов или при выбросе вещества кометами во время их прохождения возле Солнца. На самом деле в Главном поясе астероидов, который расположен между орбитами Юпитера и Марса, столкновения — частое явление. Там происходят выбросы пыли, а тела при столкновении могут раздробиться на несколько осколков, которые в течение миллионов лет будут затем тереться друг о друга. Таким образом возникают частички пыли. Солнце испаряет лед с поверхности комет, образуя эффектные хвосты. Пыль, которая при этом



образуется, разлетается за границы орбиты Юпитера. Несмотря на ее массу, составляющую тысячные доли общей массы Луны, свет, который отражается от межпланетной пыли, в сотню раз интенсивнее, чем отраженный планетами. Это объясняется большой суммарной площадью поверхности частиц пыли.

Такой же процесс возникает и вблизи других звезд. 20 лет назад инфракрасный спутник IRAS (англ. — InfraRed Astronomy Satellite) на регулярно проводимых калибровочных наблюдениях Веги нашел вблизи Веги признаки существования диска, состоящего из частиц небольшого размера. В начале 90-х гг. XX в. при анализе информации, полученной IRAS, было выдвинуто предположение о том, что такие пылевые диски существуют у 100 звезд, но, увы, наблюдать их в то время не удавалось. Только в конце 90-х гг. орбитальными и наземными обсерваториями были даны детализированные изображения таких дисков. Последние сведения о них поступали с космического телескопа «Хаббл» в 2002 году и с космического телескопа «Спицер», который является инфракрасным двойником «Хаббла», запущенным летом 2003 года.

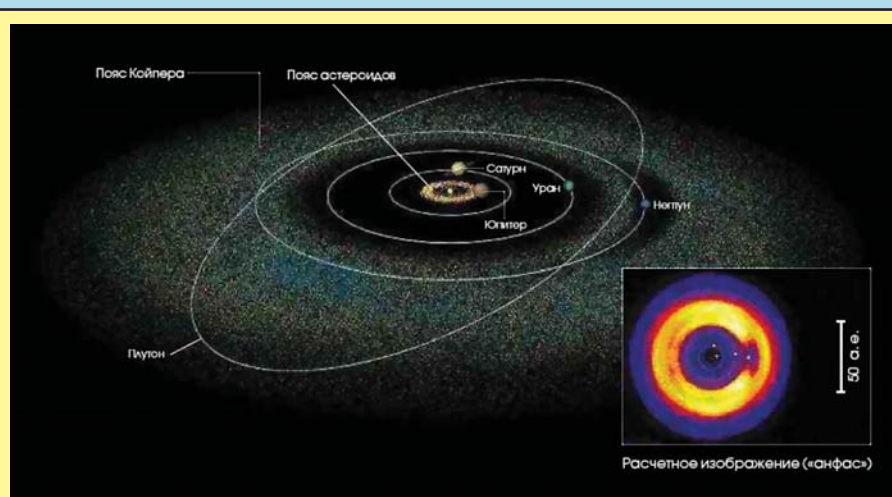
Эта информация шокировала многих специалистов. Несколько дисков не выглядят бесструктурными: одни — подобие колец Сатурна, на других обнаружены дыры, сгустки и спирали, возникшие, скорее всего, при воздействии невидимых планет огромного размера. В Солнечной системе кометы и астероиды сосуществуют с планетами-гигантами и планетами земного типа. Наличие дисков может быть свидетельством присутствия комет либо астероидов, как побочного продукта формирования этих планет. По другой версии, предложенной астрономами, диски являются обломками, которые возникли во время разрушения объектов более крупных размеров (это большинство из астероидов), или планетезималиями — «кирпичиками», из которых образуются планеты, часть которых не смогло объединиться в крупные тела (это кометы).

Астрономы, которые изучали вблизи только Солнечную систему, пока не поняли, можно ли применить их теории к иным системам планет. Наблюдения за пылевыми дисками, образованными вблизи звезд разного возраста и различной массы, помогут специалистам в определении места Солнечной системы в ряду иных систем.

### ВЕЗДЕ ОБЛОМКИ

**IRAS** работал в течение 10 месяцев в 1983 году. За эти дни спутником проведено обследование неба в дальней и средней инфракрасных областях спектра (диапазон длин волн 12-100 мкм). Наблюдения в данном диапазоне волн с Земли осуществить нереально, т. к. атмосфера нашей планеты практически полностью поглощает излучение с этими длинами волн. Для излучения веществом в указанном диапазоне, у него должна быть низкая температура, составляющая около 50-100 К. Ученые-астрономы предполагали, что звезды, у которых поверхность разогрета до нескольких тысяч градусов кельвина, будут невидимы для спутника IRAS.

Но IRAS показал, что некоторые из звезд интенсивно излучают в данном диапазоне, при этом испускаемое ими излучение в сотни раз больше, чем у обычных звезд. Подобный избыток инфракрасного излучения навел на предположение,



Частицы пыли не только указывают на то, что существуют астероиды и кометы, но и позволят в будущем найти планеты. В Солнечной системе на распределение частиц пыли влияет притяжение Нептуна в Поясе Койпера. С позиции наблюдателя на инфракрасном изображении (врезка) было бы видно сгустки и пробелы, это предполагает наличие планеты гигантских размеров. Изображение, которое было смоделировано с помощью компьютера, напоминает увиденное астрономами вблизи других звезд

что вокруг них есть пыль. По версии астрономов, пыль нагревается светом звезды, затем она испускает инфракрасное излучение, при этом создается максимум в спектре ее излучения. Возраст таких звезд очень велик, пыль — не остаток материала, из которого звезды были сформированы, по этой причине пыль должна быть образована при столкновениях или испарении невидимых тел.

Пространственное разрешение этого спутника оказалось недостаточным для того, чтобы осуществлять непосредственное наблюдение за большинством пылевых дисков. Все диски, которые были обнаружены, кроме 4-х, казались точками, не имеющими определенной структуры. Однако их яркость позволила сделать приблизительную оценку их размеров — 100-1000 а. е. (астрономических единиц). Эти показатели в 20-200 раз больше, чем расстояние от Юпитера до Солнца. При анализе спектра пылевых дисков стало ясно, что их состав похож на вещество, из которого состоят кометы Солнечной системы.

Получилось произвести оценку геометрии дисков. У тех дисков, за которыми наблюдал IRAS, была неоднородная температура: части, которые были ближе к звезде, оказались теплее, чем зоны на периферии. Интересно отметить, что в основном не было найдено межпланетной пыли, имеющей температуру намного выше 200К. Это намного ниже, чем предполагали ранее (если бы диски располагались до окрестности звезд). Следовательно, у дисков есть отверстия в центре. Для ученых это было первым указанием на наличие структуры дисков, что предполагает присутствие невидимых глазу планет.

В 1984 году после того, как были сделаны открытия с помощью спутника IRAS, Брэдфорд Смит, который работал в то время в Аризонском университете, а также Ричард Террил, работавший в Лаборатории реактивного движения, могли наблюдать, используя 2,5-метровый телескоп чилийской обсерватории Лас-Кампанас, звезду  $\beta$  Живописца. Для обнаружения слабо излучающего вещества диска на фоне интенсивного свечения звезды была использована коронографическая маска — диск небольшого размера в фокусе телескопа для блокирования прямого излучения звезды. Изображение в видимом свете показало огромный диск, который простирается от звезды на расстояние больше 400 а. е.



РОИ КОМЕТ

В начале 90-х гг. XX в. астрономами было получено подтверждение о существовании Пояса Койпера — зоны тел, которые простираются от орбиты Нептуна за орбиту Плутона. Предположения о том, что эта зона существует, выдвигали давно. Соударения в данном поясе создают второй пылевой диск, более холодный. Его тяжело увидеть с нашей планеты, т. к. он погружен в ореол зодиакального света.

Предположительно, аналог межзвездных пылевых дисков вокруг звезд — это пояс Койпера, а не зодиакальный диск. У звезд, кроме холодных дисков больших размеров, учеными были обнаружены и теплые диски, являющиеся аналогами зодиакальных.

Хотя койперовский диск располагается на более отдаленном расстоянии от Солнца, по сравнению с зодиакальным, в нем содержится, скорее всего, раз в 10 больше пыли, хотя он меньше других. В диске вокруг  $\beta$  Живописца содержится как минимум в 10 тысяч раз больше пыли, чем в Поясе Койпера в Солнечной системе. Частота, с которой сталкиваются планетезимали при пылеобразовании, прямо пропорциональна количеству объектов, возведенному в квадрат; поэтому, если прочие условия одинаковы, то в  $\beta$  Живописце содержится в сотню раз больше планетезималей, чем вокруг Солнца.

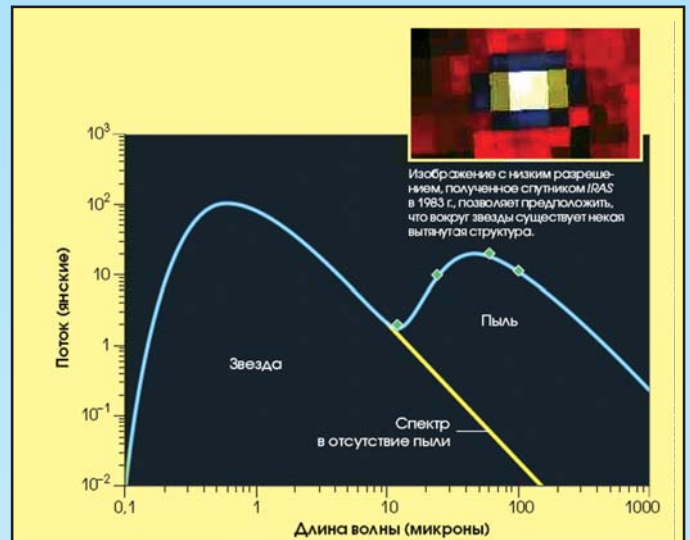
Ученые считают, что количество пыли зависит от возраста системы. Земле сейчас 4,5 миллиарда лет,  $\beta$  Живописцу — 15 миллионов лет. Исходя из наблюдений, можно сделать вывод, что количество пыли со временем снизится. Причина этого — убывание «популяции» исходных планетезималей. Столкновения, в результате которых образуется пыль, являются причиной разрушения сталкивающихся тел. В силу гравитационных взаимодействий с планетами могут быть выбросы астероидов и комет за пределы планетной системы, или их затаянет к центральной звезде. Несколько линий поглощения в спектре  $\beta$  Живописца могут появляться и исчезать. Ученые выдвигают гипотезы, что это обусловлено кометами, падающими на звезду, и их сгоранием. В течение года может происходить до 200 подобных событий. Возможно, в молодой Солнечной системе было множество комет и астероидов, их число с течением времени снизилось.

У многих звезд, у которых в спектре виден избыток инфракрасного излучения, их масса превышает массу Солнца. Вероятно, это из-за того, что массивные звезды легче найти, так как их температура выше, и потому они сильнее нагревают пыль. Они могли бы возникнуть из диска с большей массой, который содержит больше межзвездной пыли. Пока неясно, как выводы, сделанные на основе данных наблюдений, можно применить к общему классу систем. Звезды с более высокой температурой должны рассеивать родительские диски с более высокой скоростью, что должно влиять на скорость образования планет.

НЕВИДИМЫЕ ПЛАНЕТЫ

Существуют ли в обнаруженных системах настоящие планеты, кроме планетезималей? В самых юных по возрасту системах планеты огромного размера либо уже сформированы, либо не смогут никогда образоваться, так как в этих дисках сейчас очень мало газа. Складывается впечатление, что планеты и диски стараются избегать друг друга.

Из сотни звезд, у которых астрономами были обнаружены планеты, лишь у двух есть инфракрасный избыток в излучаемом спектре, который указывает на пылевой диск. Наличие дисков может быть свидетельством о присутствии там планет. Тяжело как-то объяснить «дождь» из комет, который падает на  $\beta$  Живописца, если в системе отсутствуют планеты, кото-

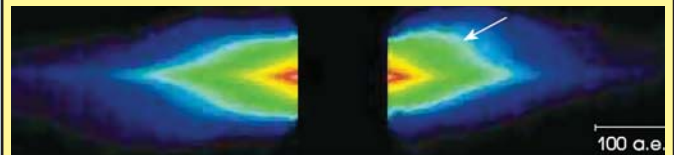


Диск, образованный из частичек пыли вокруг звезды  $\beta$  Живописца, которая отстоит на 63 световых года от Земли, изучен лучше других за пределами Солнечной системы.

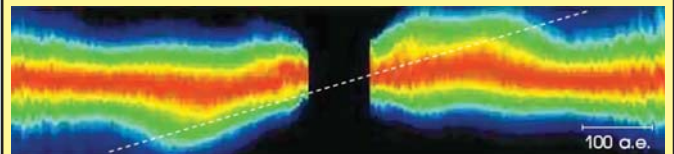
Изображение, имеющее низкое разрешение, получено IRAS в 1983 году. Оно позволит сделать заключение о том, что вблизи звезды располагается структура вытянутой формы. Спектр излучения  $\beta$  Живописца отличен от спектра обычных звезд. Избыток излучения в ИК-области говорит о наличии пыли. Ромбики — данные, которые получены при измерениях с помощью IRAS



Более детализированный снимок в видимом свете ученые получили в 1984 году. На изображении вы можете увидеть диск, который обращен ребром к наблюдателю. Кольца и прямые темные линии — артефакты аппаратуры, которую применяют для затенения звезды



Изображение, полученное телескопом «Хаббл» в видимом свете в 1995 году. Можно увидеть «вздутие» диска (оно указано здесь стрелкой), которое, вероятно, вызвано проходящей звездой или коричневым карликом. Цветом обозначена яркость



На снимке, который получен «Хабблом» в 1997 году, можно увидеть искривление внутренней части пылевого диска (обозначено пунктиром). Это может свидетельствовать о наличии планеты очень больших размеров на наклонной орбите

рые оказывают гравитационное воздействие. На некоторых из изображений дисков обнаружены спирали большого размера, кроме сгустков и колец. Планеты, имеющие наклонные орбиты, могут затащить межпланетную пыль на собственные орбиты, этим самым искажая форму диска. Они могут выметать пыль, при этом образуются кольца и полости, или сформировать след, похожий на сгусток. Кстати, Земля оставляет такой же отпечаток в пыли.

Однако доводы о том, что в этих дисках есть планеты, не очень убедительны. Планеты, которые могут сформировать наблюдаемые астрономами особенности, должны находиться

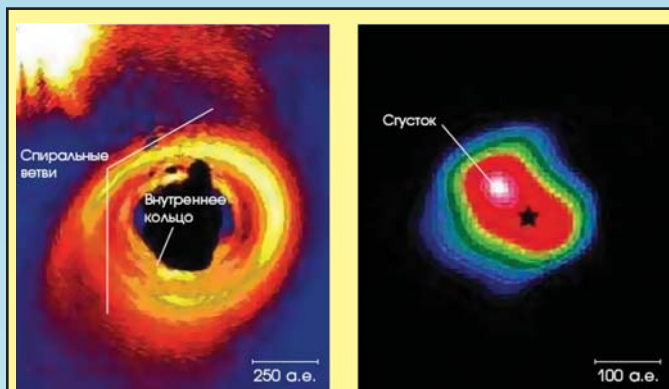
на расстоянии большем, чем Нептун от Солнца, но вряд ли они смогут формироваться настолько далеко. Вероятно, некоторые из планет появились на небольших расстояниях от звезды, а потом отдалились от нее (это предположение высказано и для Нептуна). Для того чтобы сохранился момент импульса, нужно, чтобы другая планета больших размеров (типа Юпитера) приблизилась к этой звезде. Но никаких признаков того, что такой второй объект присутствует, не было обнаружено. Сведения, которые были получены, неоднозначны, разные исследователи еще не пришли к консенсусу о массах планет и их положении. Несколько особенностей, которые были замечены, можно пояснить не одним лишь гравитационным притяжением этих планет. Некоторые астрономы полагают, что кольца существуют в любой молодой системе. В то время как планетезимали увеличиваются в размерах и объединяются между собой, диски разрушаются, скорость пылеобразования и частота соударений увеличиваются. Другие группы астрономов склонны считать, что кольца пыли могут сформироваться спонтанно на краях дисков, состоящих из газа. Высокие градиенты давления на краю диска, таким образом, способствуют торможению пылевых частиц, которые в ином случае были бы выброшены из планетной системы.

В 2003 году ученые из Университета Дж. Гопкинса, используя коронограф камеры ACS на телескопе «Хаббл», были заняты наблюдением звезды HD 141569. Изображения, которые были получены раньше, показали, что у этой звезды 2 кольца. На фотографиях, полученных в 2003 году, обнаружены спиральные длинные ветви межзвездной пыли, которые похожи на наблюдаемые в спиральных галактиках. Поэтому можно предположить, что кольца, которые исследовали раньше, представляют собой фрагменты спиралей. Звезда HD 141569 имеет 2 звезды-компаньона. Полагают, что примерно сотню тысяч лет назад они приблизились близко к диску, разрушая и растягивая его, что породило спирали. Некоторые астрономы полагают, что диск был сформирован многократными взаимодействиями со звездами-компаньонами.

Несколько особенностей пылевых дисков могли появиться из-за влияния других тел, а не планет. Разброс мнений обуславливается еще малой четкостью изображений дисков, и каждое представляет собой уникальный случай. В конце 2003 года К. Штапельфельдом, работающим в Лаборатории реактивного движения, были опубликованы первые изображения диска, которые образованы вокруг системы Фомальгаута. Эти снимки получены телескопом «Спицер», оснащенный детекторами дальнего инфракрасного излучения такого же диапазона длин волн, как и детекторы IRAS, но в тысячу раз чувствительнее.

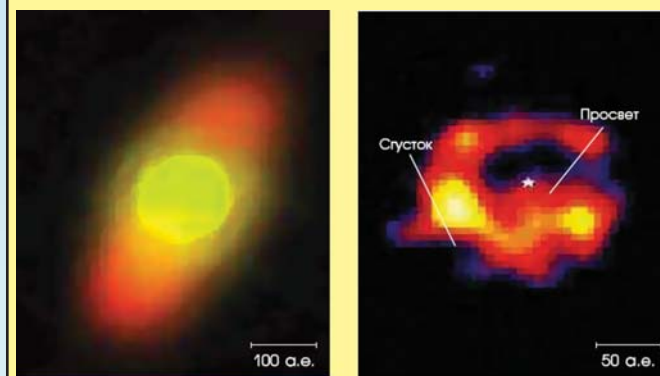
С их помощью можно обнаружить небольшое количество пыли и изучить большее количество дисков. На снимке, который получен в излучении, имеющем длину волны 70 микрон, форму диска видно довольно отчетливо. Диск на ней — это кольцо, видимое с ребра и имеющее радиус около 200 а. е. Одна сторона его ярче второй, видимо, из-за произошедшего недавно столкновения астероидов, а может быть, это из-за гравитационного влияния какой-либо невидимой планеты. При длине волны 24 микрон видна концентрация относительно теплого вещества возле звезды — это подобие зодиакального облака, что приводит к выводу о наличии у системы Фомальгаута чего-то, похожего на астероидный пояс в Солнечной системе.

Существование пылевых дисков подтверждает, что рядом и с другими звездами существуют кометы и астероиды, которые возникают при формировании планет. Отсюда вывод, что Солнечная система похожа на другие планетные системы. Но



Слева: снимок пыли вокруг звезды HD 141569, удаленной от нашей планеты на 330 св. лет. Можно различить 2 спиральные ветви, которые могли возникнуть под влиянием звезды-компаньона. Кольцо, расположенное внутри, — это, вероятно, признак наличия невидимой планеты. Цвета могут охарактеризовать плотность вещества, которое можно увидеть в видимом свете

Справа: спусток размером 100 астрономических единиц в системе Веги (25 световых лет от планеты Земля). Черная звездочка в центре отмечает положение звезды. По данным, полученным при компьютерном моделировании, объект, обозначенный ярким цветом (выше и левее звезды), представляет собой планету, у которой масса в 2 раза выше массы Юпитера. Снимок получен в субмиллиметровых волнах. Масса Веги в 2 раза больше, чем масса Солнца



Система Фомальгаута (25 световых лет от планеты Земля). Нижняя левая сторона заметно крупнее верхней правой, это может быть связано со столкновением астероидов, которое произошло недавно. В центре кольца теплая пыль, подобная зодиакальной пыли в Солнечной системе. Снимок получен в дальнем ИК-излучении.

Система ε Эридана (10 световых лет от планеты Земля). Дыры и спустки могли возникнуть при воздействии планеты, имеющей массу, сравнимую с массой Сатурна, который движется по орбите вытянутой формы. Спектральные сведения позволяют предполагать наличие другой планеты, которая расположена на меньшем расстоянии к звезде. Снимок получен в субмиллиметровых волнах

даже в пылевом диске с минимальным наблюдаемым размером содержится в 50 раз больше пыли, чем находится в Солнечной системе. Почему такое различие?

Или планеты Солнечной системы вытеснили основные планетезимали, или Солнце возникло с диском необычно малого размера. Либо чувствительности имеющейся аппаратуры не хватает для того, чтобы обнаружить истинные аналоги Солнечной системы. Ученым еще лишь предстоит воссоздать детализированную картину эволюции планет вблизи звезд, имеющих различную массу.

Наблюдения, которые проводились в дальнейшем с использованием телескопов «Спицер», «Хаббл» и наземных телескопов, могут помочь нам узнать, какое место у Солнечной системы среди иных планетных систем.

