



Рис: SPP 1992 (Patricia Klein)

Экзотика экзопланет

Открытие планет у других звезд стали обыденными: достоверно подтверждено существование более четырех тысяч экзопланет. Астрономы-наблюдатели научились определять периоды их орбит, массы, размеры, состав и температуры атмосфер. Однако теоретики-астрофизики нередко приходят в удивление от новых находок. Дело в том, что модели образования планет сложились на базе строения и свойств Солнечной системы. Со времен Лапласа принято считать, что планеты зарождаются вокруг своих звезд в облаках пыли и газа за счет слипания мелких твердых тел, так называемых планетезималей во все более крупные. А далее всем управ-

ляет небесная механика. Теперь эта теория трещит по швам: многие экзопланеты не подтверждают ее выводы и совсем не отвечают стандартам Солнечной системы. Вот некоторые из таких находок последних месяцев.

Жаркое железо

Горячие юпитеры на ультракоротких орбитах все-таки редкость. Гораздо чаще там встречаются маленькие, как считается, каменные планеты вроде Меркурия. Только что у небольшой звезды GJ 367 телескоп TESS помог открыть одну из самых маломассивных экзопланет. Планета на сверхкороткой орбите облетает свою звезду всего за 7,7 часов. Она размером с Марс, но по составу больше похожа на Меркурий. Результат получен международной

группой, возглавляемой доктором Джорджем Рикером (George Ricker) из Массачусетского технологического института.

После обнаружения планеты методом транзитов спектры ее материнской звезды наблюдали с помощью высокоточного спектрографа HARPS (High Accuracy Radial Velocity Planet Searcher), находящегося на 3,6-метровом телескопе Ла-Силья Европейской южной обсерватории (Чили). Причем тут измерения спектра? Дело в том, что движущаяся по орбите планета периодически колеблет звезду и смещает частоту линий ее излучения. Эти изменения спектра засекают по эффекту Доплера. Спектрометрический метод позволяет определить эксцентриситет и нижнюю границу массы планеты.

Оказалось, что экзопланета весит как 0,55 Земли и имеет размер в 0,72 земного радиуса, определен-

ный по величине затенения звезды. Соответственно среднее значение плотности составляет 8200 кг/м^3 . Из-за чрезвычайной близости к своей звезде планета, обращенная к ней одной стороной, освещена в пятьсот раз сильнее, чем Земля Солнцем. Ее дневная сторона прогревается до полутора тысяч градусов Цельсия. Поэтому ее атмосфера если и была, то полностью испарилась в космос.

Из чего же состоит планета? Приглядимся к числам. Плотность железа равна 7800 кг/м^3 , никеля 8900 кг/м^3 . Выходит, планета чуть ли не целиком состоит из никеля с железом. Такую природу подтверждает и температура на дневной стороне, равная температуре плавления железа (1538°C) или никеля (1453°C). То есть по дневной стороне планеты должен быть разлит металлический океан, окруженный, видимо, железными торосами по мере удаления в холодную ночную сторону.

Некоторые астрофизики считают такие объекты металлическими ядрами более крупных планет, потерявшими свои силикатные мантии в результате космических катастроф. Звезда удалена от нас всего на три десятка световых лет, что, несомненно, облегчит изучение окрестностей этого красного карлика с помощью новейших телескопов. Если в системе есть другие планеты, то они также могут пролить свет на образование найденной. У планетологов появился очередной объект, который совершенно не влезает в уготованное теорией место. (*Science*, т. 374, № 6752, с. 1271)

Год в шестнадцать часов

По законам механики, чем ближе планета к материнской звезде, тем быстрее она обращается вокруг нее. В Солнечной системе, например, годы на газовых гигантах Юпитере и Сатурне длятся около двенадцати и тридцати земных лет, а оба они довольно далеко

от Солнца. Так называемые горячие юпитеры, гигантские экзопланеты, расположенные вблизи своих звезд, были первым неожиданным открытием на заре экзопланетной эры. Сейчас их известно около четырехсот. Некоторые из них движутся по ультракоротким орбитам с периодами менее земного дня.

Только что найден экзопланета с самой короткой орбитой из всех известных. Это открытие сделал большой международный коллектив под руководством доктора Яна Вонга (Ian Wong) из Массачусетского технологического института. В работе астрономы использовали орбитальный телескоп TESS (Transiting Exoplanet Survey Satellite); он ищет экзопланеты методом транзитов, то есть выделяет среди множества звезд те, свет от которых периодически изменяется. Такое моргание возникает от затенения звезды планетой, проходящей между ней и телескопом.

Оказалось, что планета движется по 16-часовой орбите, к своей звезде она расположена в 24 раза ближе, чем Меркурий — самая близкая к Солнцу планета. Масса экзопланеты в пять раз превышает массу Юпитера, размер — на треть. К своей звезде она всегда повернута одной стороной, как Луна к Земле или Меркурий к Солнцу. Оценки показывают, что температура на ее дневной стороне превышает три тысячи градусов, то есть планета нагрета, как маленькая звезда. Из-за чудовищной разницы температур ночной и дневной сторон на ней должны дуть невообразимые, как показывают другие исследования, иногда сверхзвуковые ветры.

Как образовались горячие юпитеры, распространенный в космосе, но неизвестный в Солнечной системе подкласс экзопланет, — это одна из больших загадок современной астрофизики. Подступиться к ней поможет только что запущенный телескоп имени Джеймса Уэбба. Впереди у исследователей короткоорбитального Юпитера еще есть время — теория предсказывает, что захват звездами своих планет с коротких спиральных орбит длится не один десяток миллионов лет. (*Astronomical Journal*, т. 162, № 6, с. 256)

Гигантские акселераты

Теории эволюции гигантских планет утверждают, что они зарождаются в виде громадных газопылевых облаков низкой плотности и затем очень долго сжимаются, чтобы наконец стать планетами типа Юпитера, Сатурна или Нептуна. Расчеты показывают, что это небыстрый процесс, он длится сотни миллионов, а то и миллиард лет. До сих пор надежно проверить предложенный сценарий не удавалось, так как найти и изучить молодые зародыши планет сложно: планеты формируются вблизи звезд, которые очень активны в эти моменты — облака пыли и газа мешают наблюдениям. Известно всего несколько работ по проблеме.

Очередные гигантские планеты нашли исследователи из Англии, Германии, Испании, Италии, Бельгии и Мексики во главе с доктором Александром Суаресом Маскарьено (Alejandro Suarez Mascareño) из Канарского института астрофизики. С помощью нескольких наземных телескопов и самой современной статистической машины для обработки результатов они сумели у молодой звезды V1298 Tau отделить полезные планетные сигналы от превышающих их на порядок сигналов звездной активности.

У этой звезды оказалось четыре планеты-гиганта, и массы двух из них удалось измерить: 0,6 и 1,2 массы Юпитера. Эти величины надежно доказывают зрелость экзопланет — они близки к массам планет-гигантов других звездных систем. Такой результат обескуражил ученых. Еще бы, ведь V1298 Tau сама-то родилась из туманности всего около двадцати миллионов лет назад. Стало быть, никаких сотен миллионов, а тем более миллиардов лет на формирование планет-гигантов у нее просто нет.

Приходится говорить, что, мол, нет уверенности, точно ли система звезды нормально эволюционирует или она представляет собой исключение. Иначе придется признать, что сжатие гигантских планет должно происходить гораздо быстрее, чем пред-

полагают современные теории. Или вообще, происхождение и эволюция планет-гигантов совсем не таковы, как представляют себе астрофизики. (*Nature astronomy*, 2 декабря 2021)

Далекый беглец

Астрономы знают, что большую экзопланету часто трудно отличить от так называемого коричневого карлика, предзвезды, масса которой не достигла порога начала термоядерных реакций. Теоретически у этих небесных тел разные истории происхождения. Планеты рождаются из материала, собирающегося вокруг материнской звезды, коричневые карлики, как и звезды, — при коллапсе гигантских облаков газа. Модельная граница между планетами и карликами проходит на тринадцати массах Юпитера. Однако наблюдатели находят планеты тяжелее этого граничного значения и карликов — легче. Размытость границы означает, что надежно различить карлика и экзопланеты близких масс невозможно.

Именно такова ситуация со свеженайденным объектом. Автор находки немец Йорг Шуман, участник публичного научного проекта Backyard Worlds: Planet 9. Его цель — обнаружение вблизи Солнечной системы объектов, похожих на планеты. Сайт проекта предоставляет цифровые изображения, сделанные за последние пять лет широкоугольным инфракрасным космическим телескопом WISE (Wide-field Infrared Survey Explorer). Сравнивая эти снимки, любители ищут смещающиеся объекты. Однако до Шумана они рассматривали близкие к Солнцу области, он же догадался отвести взгляд подальше от нашей звезды.

Оказалось, что вокруг подобной Солнцу звезды, расстояние до которой 146 световых лет, движется объект в десять — двадцать масс Юпитера; это примерно сотая часть массы материнской звезды. Удивительно расстояние от него до звезды: оно в 1662 раза больше радиуса орбиты

Земли или в десять с лишним раз больше размера гелиосферы, за которой начинается открытый космос.

Для изучения звезды и ее далекого спутника сразу возникла группа из двух десятков ученых под руководством одной из основательниц публичного проекта, доктора Жаклин Фаерти (Jacqueline K. Faherty) из департамента астрофизики Американского музея естественной истории. Ученые использовали телескопы, расположенные в штате Калифорния и на Гавайях. Пока что они не понимают механизм образования находки Шумана. Отметим: некоторые астрофизики предполагают, будто между карликами и экзопланетами нет границ, то есть это объекты одной природы, что бросает тень на теории происхождения как звезд, так и планет. Значит, придется поискать единую теорию.

Работа интересна еще и тем, что астрономы не устают искать гигантскую планету на периферии Солнечной системы. Теперь их надежды обретают новый смысл: у соседней звезды она найдена, значит, может быть и у нашей. (*The Astrophysical Journal*, т. 923, № 01, с. 48)

Семь десятков странниц

Астрофизики давно знают, что экзопланеты необязательно обращаются вокруг своих материнских звезд. Некоторые в одиночку странствуют в космическом пространстве. Таких путешественниц с массами в Юпитер или Сатурн до недавнего времени можно было перечесать по пальцам. Находят их косвенными методами, состав таких планет остается неясным, общепринятой теории происхождения нет.

Но вот международная команда из двенадцати ученых под руководством доктора Нурии Мире-Пуа (Núria Miret-Roig) из французского Научно-исследовательского института в Пессаке объявила о находке сразу нескольких десятков планет-странниц. Их обнаружили прямым наблюдением в европейские наземные телескопы

и орбитальный телескоп «Gaia», запущенный Европейским космическим агентством для поиска экзопланет.

Ученые анализировали снимки южных созвездий Скорпиона и Змееносца, где лежит близкая к нам область активного звездообразования. По современным представлениям, здесь должны существовать молодые планеты возрастом в несколько миллионов лет. Они еще не успели охладиться и поэтому излучают слабый свет. Исследователи измерили перемещения, яркости и цвета десятков миллионов светящихся объектов на десятках тысяч фотографий участков неба, сделанных за последние двадцать лет.

Под подозрение попали слабейшие источники света. Таких оказалось несколько сотен, однако не все могут оказаться планетами. Ученые пока не умеют измерять массы таких объектов, а значит, надежно отличать экзопланеты от коричневых карликов. Поэтому для оценки масс астрофизики привлекли ряд дополнительных теоретических соображений. Так, было установлено, что на снимках выявлено не менее 70, но не более 170 странствующих экзопланет. Эта статистика позволяет утверждать, что в нашей Галактике существует несколько миллиардов планет, не связанных со звездами и находящихся в свободном блуждании.

Астрофизики заключают, что количество обнаруженных космических странниц в разы превосходит предсказания современной теории их образования, а она гласит, что одновременно с коллапсом газа на орбитах существует и выброс планет из звездных систем. Он может происходить в гигантских экзопланетных системах из-за динамических неустойчивостей в первый десяток миллионов лет их жизни. Видимо, настал черед проверки и этой теории. (*Nature Astronomy Letters*, 22 декабря 2021)

Выпуск подготовил
А. Гурьянов