



В ПОИСКАХ ДАЛЕКИХ ПЛАНЕТ

УСПЕХИ В ОБНАРУЖЕНИИ ЭКЗОПЛАНЕТ ПРИВЛЕКЛИ К ЭТОЙ ОБЛАСТИ АСТРОНОМИИ НЕ ТОЛЬКО ОБЩЕСТВЕННОЕ ВНИМАНИЕ, НО И ФИНАНСИРОВАНИЕ. ПОЭТОМУ СЕЙЧАС ПОЛНЫМ ХОДОМ ИДЕТ РАЗРАБОТКА ПРИБОРОВ СЛЕДУЮЩИХ ПОКОЛЕНИЙ

Текст: Алексей Левин

В 2004 году в чилийской высокогорной обсерватории La Silla Paranal (это часть Южной европейской обсерватории) заработал спектрометр HARPS (High Accuracy Radial Velocity Planetary Search), установленный на 360-см телескопе (который был введен в действие в 1977 году и полностью модернизирован в 1999-м). Этот прибор обеспечивает промер скоростей с точностью до 1 м/с и пока не имеет себе равных. Впрочем, ученые уже обсуждают планы по предполагаемой установке спектрографа с разрешающей способностью в 10 см/с на одном из телескопов Северного полушария (работы по его конструированию и постройке займут около пяти лет).

С ЗЕМЛИ И ИЗ КОСМОСА

Не стоит на месте и фотометрия. 27 декабря 2006 года на околоземную полярную орбиту с Байконура был запущен оснащенный 25-см телескопом французский спутник COROT. Он предназначен для сбора информации о внутренней структуре звезд и поиска экзопланет затменным

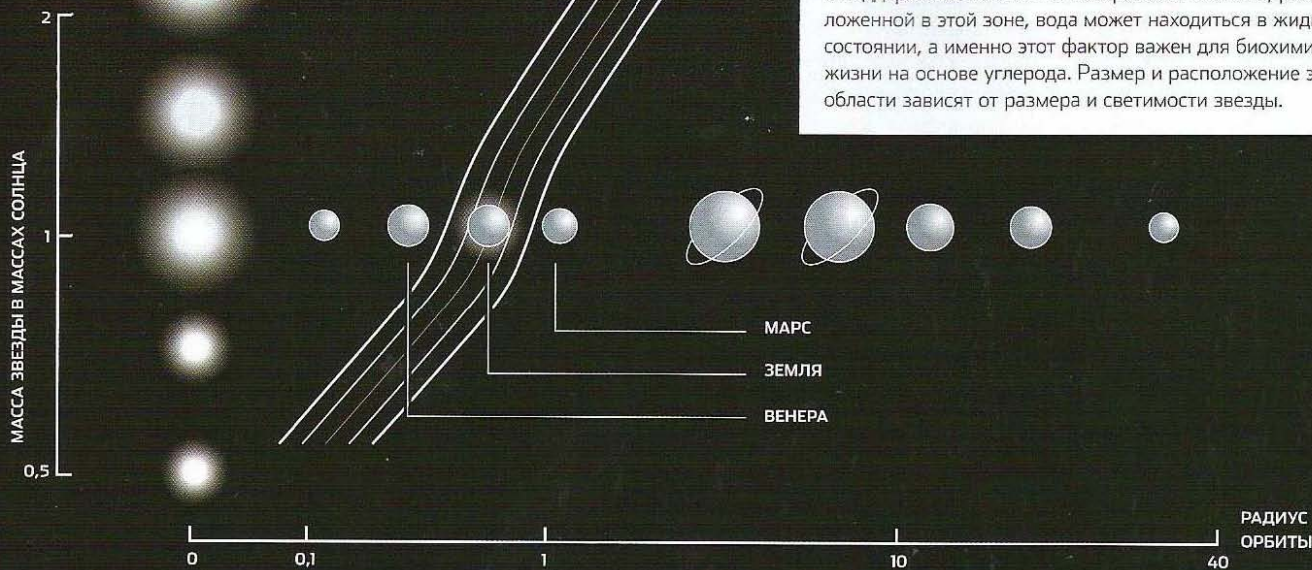
ЕЩЕ ПЯТЬ ЛЕТ НАЗАД ПРЕДЕЛ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ ЗВЕЗДНЫХ РАДИАЛЬНЫХ СКОРОСТЕЙ НЕ ПРЕВЫШАЛ ТРЕХ-ЧЕТЫРЕХ МЕТРОВ В СЕКУНДУ. Такая аппаратура позволила проверить на предмет наличия экзопланет юпитерианского типа около 2000 солнцеподобных звезд, расположенных в радиусе 150 световых лет от Солнца. А потом появилась возможность заглянуть подалее.

методом. Сообщение о первой удаче появилось уже в мае 2007 года. Космический наблюдатель обнаружил газовый гигант (получивший имя COROT-Ехо-1b), который приблизительно каждые 36 часов совершает полный оборот вокруг желтого карлика, отдаленного от нас на 1500 световых лет. Доплеровская спектроскопия показала, что масса этого тела составляет 1,3 массы Юпитера. Космической обсерватории COROT по силам также поиск планет земного типа и спутников газовых гигаутов. К середине 2008 года она исследовала на наличие спутников больше 50 000 звезд.

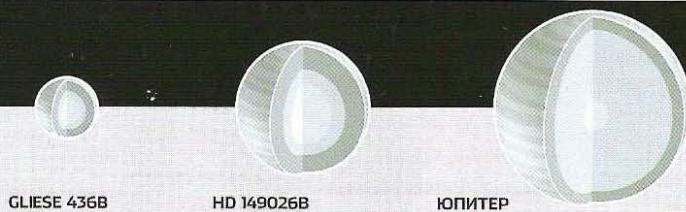
Весной 2009 года NASA выведет на орбиту спутник аналогичного назначения Kepler с метровым телескопом. Европейское космическое агентство работает над программами космических миссий PLATO, SEE-COAST, PEGASE и DARWIN,

ЗОНА ОБИТАЕМОСТИ

Околосолнечная зона обитаемости – область вокруг звезды с условиями, при которых возможно зарождение и поддержание жизни. На поверхности планеты, расположенной в этой зоне, вода может находиться в жидком состоянии, а именно этот фактор важен для биохимии жизни на основе углерода. Размер и расположение этой области зависят от размера и светимости звезды.



В СПИСКЕ ИЗВЕСТНЫХ ЭКЗОПЛАНЕТ преобладают тела калибра Юпитера. Подобные газовые гиганты легче всего обнаружить с помощью существующих методов – доплеровской спектроскопии и фотометрии. На рисунке слева направо показаны две самые маленькие планеты, которые после доплеровского обнаружения были изучены с помощью фотометрии – Gliese 436b и HD 149026b. Справа от них расположен Юпитер



которые тоже станут искать экзопланеты, причем различными способами. Размах этих проектов впечатляет. DARWIN – флотилия из пяти кораблей, выведенных на околосолнечную орбиту во вторую точку Лагранжа по отношению к Земле. Четыре станции, оснащенные телескопами с апертурами в 1–2 м, образуют сверхчувствительный оптический интерферометр космического базирования, а то время как пятый корабль будет интегрировать полученную информацию и переправлять ее на Землю. DARWIN сможет не только найти планету земного типа, но и проанализировать ее атмосферу. Эти проекты будут реализованы не раньше 2015 года.

Внесолнечные планеты можно зарегистрировать и другими способами. Звездный свет в чистом виде не поляризован, но при отражении от поверхности планеты приобретает слабую поляризацию. В настоящее время несколько научных групп ведут поиск экзопланет с помощью поляриметров, смонтированных на мощных телескопах.

ЧТО МЫ ЗНАЕМ ОБ ЭКЗОПЛАНЕТАХ

К осени 2008 года было известно 306 экзопланет. Почти все они (примерно 88%) пока считаются одиночными спутниками своих звезд. Это вовсе не значит, что они

не имеют компаньонов, просто об их существовании пока еще не известно. К настоящему времени зарегистрировано 29 планетных систем, принадлежащих обычным звездам, и уже упоминавшаяся трехпланетная система пульсара PSR 1257+12.

Все многопланетные системы были открыты методом доплеровского измерения радиальных скоростей, благодаря которому и была найдена львиная доля (95%) внесолнечных планет. Дополнительная информация о 56 из них (исключительно одиночных) была получена с помощью фотометрической техники. Семь экзопланет обнаружили с помощью микролинзирования, пять – прямым фотографированием. В 2007 году на орбите вокруг уж совсем особенной звезды, горячего пульсирующего субкарлика HS 2201+2610, которая когда-то была красным гигантом, а сейчас превращается в белый карлик, была обнаружена газовая планета с массой более трех Юпитеров (ее и нашли особым способом, по изменению периода пульсаций). И еще четыре планеты принадлежат пульсарам. Итого: 289+7+5+1+4=306.

Большинство известных экзопланет обращается вокруг звезд спектральных классов K, G и F, ко второму из которых принадлежит и наше Солнце. Массы этих звезд составляют

от 0,8 до 1,7 солнечной массы, а поверхностная температура – от 3,5 до 7,5 тысячи Кельвинов. Отчасти это объясняется тем, что именно у таких звезд экзопланеты и ищут, но есть и другие причины. Самые горячие голубые и бело-голубые звезды спектральных классов O и B испускают мощные потоки электромагнитного излучения и быстрых частиц, которые препятствуют конденсации вещества протопланетных дисков. Самые мелкие и холодные – красные карлики спектрального класса M – либо наименее склонны к планетогенезу, либо обладают небольшими планетами, которые пока не поддаются обнаружению.

Спектр нижних границ масс известных экзопланет простирается от 3,2 массы Земли (это 0,01 массы Юпитера) до 17,5 массы Юпитера. Самая легкая планета, которая обращается вокруг звезды MOA-2007-BLG-192-L (около 3000 световых лет от Солнца), была обнаружена весной 2008 года методом микролинзирования. Вторая по мелко-

масс Юпитера. Доля планет с массой выше восьми юпитерианских не составляет и 10%, причем часть из них – наверняка не планеты, а коричневые карлики. Среди газовых экзопланет немало пегасидов (обязанных названием первой достоверно зарегистрированной экзопланете – спутнику звезды 51 Пегаса). К этой группе относят планеты, которые удаляются от своих звезд не далее, чем на 0,05 а.е., и поэтому имеют очень короткие периоды. Особое место среди них занимает OGLE TR 56b, планета с массой 1,45 массы Юпитера, которая подходит к звезде-хозяйке на 0,02 а.е. Температура ее поверхности достигает 1900 Кельвинов – это даже не горячий, а воистину выжженный Юпитер.

ГУСТОНАСЕЛЕННАЯ ВСЕЛЕННАЯ

“В семействе уже открытых экзопланет большинство составляют газовые гиганты умеренной массы, экстра-

В НАШЕЙ ГАЛАКТИКЕ ПРИСУТСТВУЮТ ПЛАНЕТЫ ТЕХ ЖЕ САМЫХ ТРЕХ ТИПОВ, КОТОРЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНЫ В СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЕ. ТАК ЧТО В ЭТОМ ПЛАНЕ ПЛАНЕТНОЕ ОКРУЖЕНИЕ СОЛНЦА ОТНЮДЬ НЕ ЯВЛЯЕТСЯ КОСМИЧЕСКОЙ ЭКЗОТИКОЙ

сти экзопланета обладает массой в 4,2 земной; ее вместе с парой соседок, в полтора-два раза тяжелее, практически одновременно открыли с помощью спектрографа HARPS. Каменные планеты такого типа, массы которых не превышают 30 земных масс, иногда называют супер-Землями. Информация, полученная с помощью HARPS, позволяет предположить, что подобными планетами обладает каждая третья солнцеподобная звезда нашей Галактики. Согласно этим же данным, газовые гиганты имеются лишь у одной из 14 звезд этого типа.

Тем не менее список известных экзопланет в основном заполнен телами юпитерианского калибра, которые легче всего выявить с помощью доплеровской спектроскопии. Среди них численно преобладают планеты с массой не более двух

солнечные кузены Юпитера и Сатурна. Отсюда следует, что такие планеты формируются достаточно часто, во всяком случае около звезд главной последовательности, не слишком отличающихся от Солнца. Однако уже известны относительно легкие планеты с большей средней плотностью вещества, которые обращаются как вблизи, так и вдали от своих звезд. Одни из них похожи на Уран и Нептун, в то время как другие скорее всего сложены из каменных пород, как Земля и ее соседи. Это означает, что в нашей Галактике присутствуют планеты все тех же трех типов, представленных в Солнечной сис-

ПРОТОПЛАНЕТНАЯ ПЫЛЬ

Еще одно перспективное направление экзопланетных исследований – изучение вращающихся около звезд дисков из пыли и мелких твердых тел, в которых, как принято считать, образуются планеты. Видимый свет они не пропускают, однако детали их строения можно наблюдать в ИК- и радиодиапазоне. В этом плане радионаблюдения много перспективней, но для них нужна аппаратура, которой еще нет. Однако ждать осталось недолго: в районе 2012 года в Атакаме будет введен в строй комплекс из нескольких десятков (до 80) 12-метровых “тарелочных” радиотелескопов, действующих как единый гигантский интерферометр. Система ALMA (Atacama Large Millimeter Array) будет сканировать небеса в миллиметровом и субмиллиметровом диапазонах. ALMA сможет получить информацию о размере, структуре и химическом составе не слишком удаленных протопланетных дисков. Она также будет в состоянии выявить более или менее пустые туннели внутри таких дисков, возникшие в результате движения планет. Еще один гигантский радиоинтерференционный комплекс аналогичного назначения SKA (Square Kilometer Array) предполагают построить в Австралии или ЮАР (место окончательно еще не выбрано). SKA начнет работу уже после 2015 года.



NASA ИЗУЧАЕТ ВОЗМОЖНОСТЬ постройки в будущем космического телескопа Terrestrial Planet Finder (TPF). С его помощью планируется не только обнаруживать землеподобные планеты, но и изучать их с точки зрения возможности существования жизни.

теме. Так что в этом плане планетное окружение Солнца отнюдь не является космической экзотикой", – рассказывает "Популярной механике" Алан Босс из Отдела земного магнетизма Института Карнеги, один из крупнейших специалистов в области современных моделей планетогенеза и автор только что вышедшей книги *The Crowded Universe: The Search for Living Planets* ("Густонаселенная Вселенная: поиск существующих планет").

"Что все это означает в свете современных моделей планетогенеза? Планетологи практически единодушны во мнении о процессах формирования каменных планет, обращающихся в относительной близости от звезд. Согласно общепринятой модели, они возникают в допланетном рою за счет столкновения и слипания более мелких предшественников. Зародыши будущих планет поглощают своих соседей и быстро увеличиваются в размерах, одновременно очищая рой от его вещества, – говорит Алан Босс. – Основы этой модели разработал блестящий российский планетолог Виктор Сафронов, с которым я неоднократно встречался. Более того, в семидесятые годы я решил заняться именно теоретической планетологией после того, как прочел английский перевод его книги по теории планетообразования.

Большинство специалистов полагают, что плотные ядра газовых планет скорее всего образуются по этой же схеме – за счет аккумуляции твердых тел и их выметания из допланетного роя. Постепенно они достигают критической массы и начинают интенсивно поглощать встречающиеся на пути молекулы газа. Можно себе представить, что именно так возникли Юпитер и Сатурн. Образование Урана и Нептуна можно объяснить аналогичным образом, однако с учетом того, что на их долю досталось много меньше газа. Эта теория существует уже три-четыре десятка лет и тоже восходит к работам Сафронова и его коллег".

"Однако это отнюдь не единственная возможность, – продолжает Алан Босс. – Лет десять назад я начал работать над альтернативной моделью формирования газовых гигантов, в которой предполагается, что в допланетном газе возникают зоны гравитационной неустойчивости, благодаря которым формируются сгустки. Они сжимаются под действием собственной тяжести и аккумулируют мелкие твердые частицы, которые собираются в их центре и образуют ядро планеты. То есть в сафроновской модели газовые оболочки формируются вокруг готовых каменных ядер, в то время как у меня возникновение ядер оказывается вторичным процессом, следствием газовой конденсации.

Я называю свой подход еретическим, поскольку у него еще мало сторонников. Стоит отметить, что он задает на много более короткий темп формирования газовых гигантов по сравнению с аккреционной моделью. Вычисления показали, что газовые сгустки возникают всего за сотни лет, в то время как типичные сроки аккреционного формирования ядра в тысячи раз больше. Скорее всего в образовании газовых гигантов задействованы оба процесса, дело лишь в том, когда какой доминирует. Если окрестности звезды бедны тяжелыми элементами, плотность твердых компонент допланетного роя окажется недостаточной для эффективной аккреции, и планетогенез начнется с газовой конденсации. А в обратной ситуации аккреция может преобладать. Во всяком случае, планеты с наиболее массивными твердыми ядрами, по всей вероятности, образуются именно по аккреционному сценарию. Можно допустить также, что нередко оба процесса на равных принимают участие в формировании планет. Но мы еще слишком мало знаем, чтобы сделать окончательные выводы".

ПМ

ПРОБЛЕМА ГОРЯЧИХ ЮПИТЕРОВ

Еще одна серьезная теоретическая проблема внесолнечной планетологии – история горячих Юпитеров. Никто не сомневается, что они никак не могли возникнуть там, где пребывают в настоящее время – в пронизанных быстрыми частицами и излучениями окрестностях звезд. Считается, что они сформировались на приличном удалении от звезд, а затем как-то переместились на свои нынешние орбиты. Для объяснения этой миграции существует два основных подхода. Один из них предполагает, что горячие Юпитеры возникали вблизи других планет, которые отшвырнули их к звездам благодаря эффекту гравитационной рогатки. В соответствии с законом сохранения углового момента сами эти планеты должны уйти на отдаленные орбиты с большими периодами, где их трудно обнаружить современными методами. Но этот сценарий не особенно популярен.

При подобном механизме миграции типичные финальные орбиты должны быть сильно вытянутыми, а мы знаем множество горячих Юпитеров, которые движутся практически по круговым траекториям. Правда, можно предположить, что сначала они действительно выходили на орбиты с большими эксцентриситетами, которые превращались в окружности за счет приливных сил. Тем не менее явный дефицит горячих Юпитеров на эксцентрических орбитах представляет для этой модели немалые затруднения. Согласно другому сценарию, будущие горячие Юпитеры сформировались столь быстро, что не успели выместить вещество из протопланетного диска. В этом случае притяжение планеты может породить внутри диска волновые возмущения, создающие центростремительную силу, которая по спирали толкает планету к звезде. В результате этих возмущений газ

растрчивает энергию на внутреннее трение и падает на звезду, увлекая за собой планету. В конце концов планета стабилизируется на круговой или почти круговой орбите, хотя причины этого еще не ясны. Возможно, это происходит под влиянием приливных сил или же под воздействием звездного магнитного поля. Обсчет этой модели на суперкомпьютерах показал, что таким образом планета может сократить расстояние до звезды на два порядка. Если в момент формирования оно составляло 5 а.е., как у Юпитера, то окончательная дистанция окажется равной 0,05 а.е., что типично для негасидов. Очень удачно, что около Солнца ничего подобного не происходило, – в противном случае вы не читали бы сейчас эту статью. Вполне возможно, что уникальность Солнечной системы именно в том и состоит, что она сформировалась без особенных приключений.