

ПЛАНЕТЫ ВО ВСЕЛЕННОЙ

А. М. ЧЕРЕПАЩУК

Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга
Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова

PLANETS IN UNIVERSE

A. M. CHEREPASHCHUK

The question of existence of planets in the vicinity of many stars in our Galaxy is of great importance to the solution of the problem of extraterrestrial life. High precision Doppler measurements made in the recent years, has led to the discovery of planets around neutron stars and solar-type stars.

Вопрос о существовании планет около многих звезд Галактики принципиально важен для решения проблемы существования жизни вне Земли. Выполненные в последние годы высокоточные доплеровские измерения привели к открытию планет у нейтронных звезд и звезд солнечного типа.

www.issep.rssi.ru

ВВЕДЕНИЕ

Человека всегда волновал вопрос о том, одиноки ли мы во Вселенной. Необходимым условием существования жизни вне Земли является наличие планетных систем вокруг многих звезд Галактики. До последнего времени даже в этом вопросе не было ясности. Ситуация с планетами вне Солнечной системы стала проясняться лишь в последние годы, и первые обнадеживающие результаты по этой животрепещущей проблеме пришли в 1991 году из совершенно неожиданной области науки — релятивистской астрофизики, занимающейся изучением нейтронных звезд и черных дыр. Планеты были открыты около пульсаров, быстро вращающихся сильно намагниченных нейтронных звезд (!).

Мы опишем новейшие результаты поиска планет вне Солнечной системы.

ЧТО ТАКОЕ ПЛАНЕТЫ И КАК ИХ ИСКАТЬ

Под планетами обычно понимаются темные стационарные тела достаточно малой массы (менее $0,01M_{\odot}$, M_{\odot} — масса Солнца), при которой в недрах тела из-за низкой температуры не могут зажечься термоядерные источники энергии. Интервал масс от $0,01$ до $0,08M_{\odot}$ соответствует так называемым коричневым карликам — объектам, у которых температура недр недостаточна для зажигания термоядерных реакций, но которые светятся за счет выделения энергии при гравитационном сжатии.

Рассмотрим свойства планет Солнечной системы. Она содержит девять планет, основные характеристики которых приведены в табл. 1.

Из таблицы видно, что планеты так называемой земной группы (Меркурий, Венера, Земля, Марс), ближайšie к Солнцу, отличаются сравнительно малой массой и высокой средней плотностью $\sim 4\text{--}5$ г/см³. За исключением Меркурия, планеты земной группы имеют атмосферы, состоящие из углекислого газа, азота, кислорода и других сравнительно тяжелых газов.

В отличие от планет земной группы планеты-гиганты (Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун), наиболее удаленные

Таблица 1. Основные характеристики планет Солнечной системы

Планета	Большая полуось орбиты, а.е.	Орбитальный период, годы	Эксцентриситет e	Радиус экваториальный, в радиусах Земли	Масса, $M_{\text{Земли}}$	Средняя плотность, г/см ³	Количество спутников
Меркурий	0,387	0,241	0,206	0,380	0,055	5,4	0
Венера	0,723	0,615	0,007	0,950	0,815	5,2	0
Земля	1,000	1,000	0,016	1,000	1,000	5,5	1
Марс	1,523	1,881	0,093	0,532	0,108	3,95	2
Юпитер	5,202	11,862	0,048	11,18	318	1,34	16
Сатурн	9,539	29,458	0,056	9,42	95,1	0,70	17
Уран	19,182	84,014	0,047	3,84	14,5	1,58	15
Нептун	30,058	164,793	0,009	3,93	17,2	2,30	8
Плутон	39,44	247,7	0,250	~0,50	~0,0017	0,7(?)	1

Примечание. 1 астрономическая единица (а.е.) – среднее расстояние от Земли до Солнца, равна ~150 млн км, или $1,5 \cdot 10^{13}$ см; радиус Земли 6370 км, масса Земли равна $6 \cdot 10^{27}$ г = $3 \cdot 10^{-6} M_{\odot}$.

от Солнца, имеют большую массу (в десятки и сотни раз превышающую массу Земли), сравнительно низкую плотность (~1–2 г/см³) и обладают мощными атмосферами, состоящими преимущественно из водорода (90%), гелия (~10%) и других газов. Особняком стоит планета Плутон, которая, являясь самой удаленной от Солнца планетой, имеет сравнительно малую массу и большой эксцентриситет орбиты.

Эксцентриситеты орбит большинства планет Солнечной системы близки к нулю, $e < 0,1$, и лишь у орбит Меркурия и Плутона эксцентриситеты значительны: $e \approx 0,21–0,25$.

Рассмотрим теперь, как будет выглядеть Солнечная система, если ее наблюдать с ближайших звезд. В сфере радиусом 5 парсек (16,3 светового года) находятся 53 звезды, из которых 40 – красные карлики низкой светимости. Если мы отнесем Солнечную систему на расстояние 5 парсек, тогда Солнце (карлик спектрального класса G2) будет выглядеть как звезда 4-й звездной величины, легко видимая невооруженным глазом, а наиболее крупная планета Юпитер будет расположена на расстоянии 1'' от Солнца и будет в миллиард раз (то есть на 23 звездные величины) слабее Солнца, так как она светит лишь отраженным солнечным светом. Остальные планеты будут еще слабее. Разрешающая способность современных крупных наземных телескопов, в которых применяются адаптивные системы, компенсирующие атмосферные искажения, достигает 0'',1. Разрешающая способность Космического телескопа им. Э. Хаббла с зеркалом диаметром 2,4 м лучше

0'',1. Поэтому принципиальных ограничений для прямого наблюдения наиболее крупных и удаленных от центральной звезды планет не существует. Нужно только сильно (в миллион раз) уменьшить рассеянный свет, порождаемый светом яркой центральной звезды в телескопе. Это очень трудная задача, поэтому для прямого наблюдения планет вокруг звезд должны применяться особые методы, включая космические эксперименты. Об этих методах мы расскажем в конце статьи. Ввиду исключительно большой трудности прямых наблюдений планет вокруг звезд астрономы до последнего времени использовали косвенные методы.

Первый метод обнаружения планет астрометрический. Планета и звезда обращаются вокруг общего центра масс. При массе планеты порядка массы Юпитера и орбитальном периоде около 12 лет амплитуда периодических отклонений близкой звезды от прямолинейной траектории, обусловленной собственным движением звезды в Галактике, должна составлять порядка $(0,5–1) \times 10^{-3}$ секунды дуги. Эта величина слишком мала для того, чтобы быть уверенно зарегистрированной с поверхности Земли.

Второй способ затменный. Ослабление света звезды при прохождении крупной планеты по ее диску может достигать около 1% (0,01 звездной величины). В случае затмения Солнца Юпитером продолжительность затмения составит около 27 часов, а период следования затмений – порядка 12 лет, при глубине затмений ~0,01 звездной величины. Недавно таким затменным методом уже открыта планета около звезды HD209458.

Третий способ состоит в наблюдении эффектов гравитационного микролинзирования звезд темными телами гало Галактики (см. в этой связи статью А.М. Черепашука [5]).

Четвертый способ, который в последние годы уже привел к успеху, спектральный или, точнее говоря, доплеровский. Он основан на точном измерении доплеровских смещений линий в спектре обычной звезды или измерении времени прихода импульсов радиоизлучения у пульсара – нейтронной звезды. Точность обычных измерений лучевых скоростей звезд составляет порядка 1 км/с. Скорость орбитального движения Солнца вокруг общего с планетами центра масс составляет ~13 м/с. В эту величину 12,5 м/с вносят гравитационные возмущения от Юпитера (период $p = 12$ лет) и 2,7 м/с – от Сатурна ($p \approx 29,5$ лет). Вклад остальных планет меньше 1 м/с. Поэтому для поиска планет вокруг звезд доплеровским методом требуется увеличение точности измерений лучевых скоростей звезд до нескольких метров в секунду. В последние годы удалось довести точность измерения лучевых скоростей звезд спектральных классов G–K до ~5 м/с. Точность определения доплеровских сдвигов импульсов радиоизлучения

пульсаров достигает сантиметра в секунду. Все это позволило обнаружить присутствие темных спутников — планет около нейтронных и обычных звезд.

ПЛАНЕТЫ ОКОЛО НЕЙТРОННЫХ ЗВЕЗД

Нейтронные звезды образуются на поздних стадиях эволюции звезд, массы железных ядер которых не превышают $3M_{\odot}$. Быстрое сжатие (коллапс) железного ядра звезды, сопровождаемое вспышкой сверхновой, приводит к образованию нейтронной звезды радиусом около 10 км и плотностью вещества, достигающей миллиарда тонн в 1 см^3 . При сжатии сильно возрастают угловая скорость вращения и напряженность магнитного поля (до 10^{12} Гс). Многие нейтронные звезды являются радиопульсарами. Строго периодические импульсы радиоизлучения пульсара связаны с переработкой его энергии вращения в направленное радиоизлучение через посредство сильного магнитного поля.

Пульсар представляет собой своеобразные очень стабильные часы: периодичность следования радиоимпульсов одиночного пульсара (периоды пульсаров лежат в пределах от нескольких миллисекунд до нескольких секунд) на больших интервалах времени стабильна с точностью лучше 10^{-21} с за секунду, то есть выше, чем стабильность современных атомных стандартов частоты! Поэтому если пульсар и его спутник (звезда или планета) вращаются около общего центра масс, то, измеряя доплеровские сдвиги в частоте следования импульсов пульсара, можно обнаружить присутствие вокруг него спутника и определить величину $m \sin i$, где m — масса спутника, i — угол наклона плоскости орбиты спутника к картинной плоскости. Первый радиопульсар в двойной системе PSR1913+16, позволивший косвенно подтвердить существование гравитационных волн, был открыт в 1975 году американскими учеными Р. Халсом и Дж. Тейлором. В дальнейшем было открыто много радиопульсаров в двойных системах, содержащих в качестве спутников неактивные нейтронные звезды, белые карлики и массивные звезды ранних спектральных классов В. Сейчас из ~1000 известных радиопульсаров более 50 входят в состав двойных систем.

Большим сюрпризом для астрономов стало открытие в 1991 году около пульсара PSR1829–10 темного спутника, нижняя граница массы которого равна 10,2 массы Земли и который обращается с периодом 184,4 земных суток (рис. 1). Это открытие сделано группой английских астрономов (М. Бэйлс, А. Лин и С. Шемер) и было настолько неожиданным, что большинство ученых сначала не поверили в корректность интерпретации найденных периодических изменений периода пульсара как следствие наличия спутника. Однако дальнейшие тщательные наблюдения и их анализ подтвердили вывод о наличии планеты вокруг пульсара PSR1829–10.

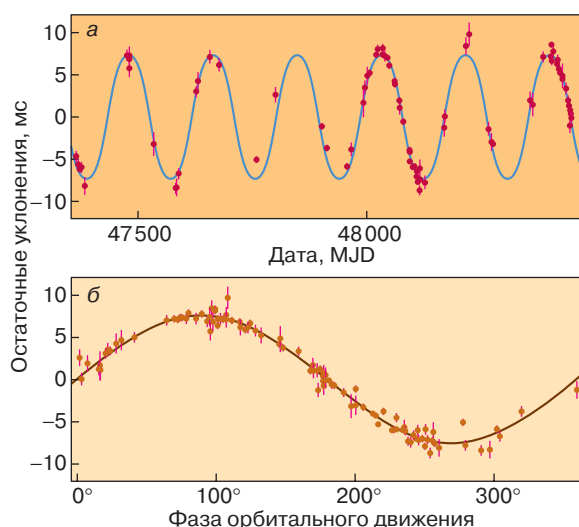


Рис. 1. Отклонения во времени прихода импульсов радиопульсара PSR1829–10 от среднего значения как функция времени, свидетельствующие о наличии планеты, обращающейся вокруг пульсара с периодом $P = 184,4$ суток и массой более 10,2 массы Земли (из статьи: *Bailes M., Lyne A.G., Shemar L. // Nature. 1991. Vol. 352. P. 311*): а — индивидуальные наблюдения, развернутые во времени, б — свертка всех наблюдений с периодом 184,4 суток

Открытие в 1992 году планетной системы из двух планет у пульсара PSR1257+12, а также в 1993 году планеты у пульсара PSRJ2322+2057 окончательно убедило астрономов в существовании планет, обращающихся вокруг нейтронных звезд (рис. 2). В табл. 2 приведены характеристики системы из двух планет, обращающихся вокруг пульсара PSR1257+12 (период осевого вращения 6,2 миллисекунды). Видно, что нижние пределы для массы обеих планет примерно вдвое больше массы Земли (которая, как известно, составляет $6 \cdot 10^{27}$ г, или $3 \cdot 10^{-6} M_{\odot}$). Эксцентриситеты орбит этих планет близки к нулю, а орбитальные периоды близки к периоду Меркурия (88 суток).

Происхождение планет около нейтронных звезд трудно понять. Взрыв сверхновой звезды, сопровождавший образование нейтронной звезды, должен был разрушить планетную систему, обращавшуюся вокруг предсверхновой. В настоящее время наиболее популярны

Таблица 2. Характеристики планет, обращающихся вокруг пульсара PSR1257+12

Параметр	Первая планета	Вторая планета
Орбитальный период, сутки	66,54	98,21
Эксцентриситет орбиты e	0,020	0,024
$m \sin i$	$7,25 \cdot 10^{-6} M_{\odot}$	$5,97 \cdot 10^{-6} M_{\odot}$

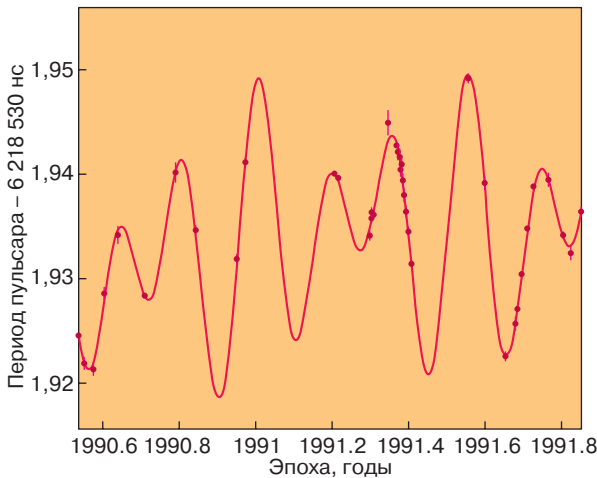


Рис. 2. Изменения периода следования импульсов пульсара PSR1257+12 как функция времени, свидетельствующие о наличии двух планет, обращающихся вокруг пульсара (см. табл. 2). Точки — наблюдательные данные, сплошная линия — теоретическая кривая в модели двух планет (из статьи: *Wolszczan W., Frail D.A. // Nature. 1992. Vol. 355. P. 145*)

две гипотезы образования планет около нейтронных звезд. Обе они предполагают, что пульсар образовался в двойной звездной системе. В первой гипотезе предполагается, что в результате полного перетекания вещества спутника на нейтронную звезду вокруг последней образовался массивный диск, дальнейшая фрагментация которого приводит к образованию зародышей планет и далее к планетам. Во второй гипотезе предполагается, что спутник не полностью перетекает на нейтронную звезду, которая тем не менее сильно раскручивается, аккумулируя орбитальный угловой момент при перетекании вещества. Сформированный, быстро вращающийся радиопульсар испускает мощный поток релятивистских частиц (релятивистский ветер), под действием которого спутник — обычная звезда нагревается и испаряется, так что его масса уменьшается до величины планетной массы. Постоянное облучение поверхности планеты потоком релятивистских частиц (с энергиями более 10^{12} эВ) при полной мощности корпускулярного излучения пульсара $\sim 10^{38}$ эрг/с (что на пять порядков больше болометрической светимости Солнца) исключает возможность существования на этих экзотических планетах каких-либо известных нам форм жизни.

ПЛАНЕТЫ ОКОЛО ЗВЕЗД СОЛНЕЧНОГО ТИПА

В течение последних лет описанным выше доплеровским методом планеты были открыты у пяти десятков звезд солнечного типа. Первая звезда, у которой швей-

царским ученым М. Мэйору и Д. Квелозу в 1995 году удалось открыть планету, была 51 Pegasi.

Существует принципиальный предел точности измерения лучевых скоростей звезд, связанный с нестабильностью их атмосфер. Например, в атмосфере Солнца есть мелкомасштабные конвективные движения газа со скоростями 0,3–3,0 км/с, что приводит к хорошо известному явлению грануляции: поверхность Солнца при наблюдении в телескоп выглядит состоящей из огромного числа светлых и темных пятнышек (гранул) размером $\sim 1''/3$ (~ 1000 км), напоминающих рисовые зерна. Число гранул на поверхности Солнца составляет несколько миллионов, поэтому при спектральных наблюдениях всего диска звезды хаотические конвективные движения в ее атмосфере усредняются. Однако, поскольку хаотические скорости составляют порядка 1 км/с, достичь точности измерения лучевых скоростей лучше, чем несколько метров в секунду, по этой причине вряд ли возможно. Детальное изучение стабильности лучевых скоростей звезд — карликов спектральных классов F, G, K показало, что внутренняя хаотическая переменность лучевых скоростей этих звезд зависит от их скоростей вращения и составляет 15 м/с для наиболее быстро вращающихся звезд (период вращения 10 суток) и 3 м/с для медленно вращающихся звезд (период вращения 30 суток). Известно, что периоды вращения звезд классов F–K тем больше, чем больше их возраст. Наблюдатели приходят к выводу, что звезды — карлики спектральных классов G и K, возраст которых более 3 млрд лет, наиболее подходят для поиска планет доплеровским методом, так как внутренняя стабильность их лучевых скоростей лучше 5 м/с.

На рис. 3, 4 приведены кривые лучевых скоростей некоторых звезд, у которых обнаружены планеты. По амплитуде изменения лучевых скоростей, обусловленной присутствием планеты около звезды, составляет ~ 50 м/с, что много больше ошибок наблюдений. Таким образом, выявление планет в данном случае можно считать весьма надежным. Из пятидесяти звезд с известными планетными системами мы выбрали восемь наиболее характерных и привели в табл. 3 данные о наличии планет вокруг них. Орбитальные периоды планет лежат в пределах 3,3–1092 суток, соответствующие большие полуоси орбит составляют от 0,04 до 2,1 а.е. Эксцентриситеты орбит $e = 0-0,68$ и в ряде случаев значительно больше, чем в Солнечной системе. Нижние пределы масс планет (по-видимому, это массы наиболее крупных планет и не исключено наличие большого числа менее массивных планет) составляют $m \sin i = 0,44-6,73$ масс Юпитера. На рис. 5 приведена гистограмма распределения масс обнаруженных спутников у звезд — карликов спектральных классов G–K. Видно, что, хотя условия для обнаружения массивных

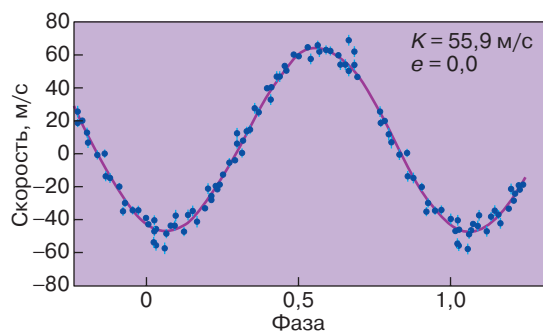


Рис. 3. Кривая лучевых скоростей звезды солнечного типа 51 Pegasi, демонстрирующая наличие вокруг этой звезды планеты с массой более 0,44 массы Юпитера и орбитальным периодом 4,23 суток

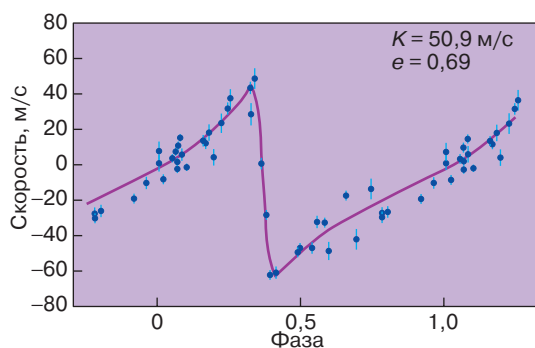


Рис. 4. Кривая лучевых скоростей звезды 16 Cygni B. Орбита соответствующей планеты имеет большой эксцентриситет ($e = 0,69$), поэтому форма кривой лучевых скоростей сильно отличается от синусоидальной. Масса планеты более 1,61 массы Юпитера, ее орбитальный период составляет 800 суток

спутников у звезд лучше (больше соответствующая амплитуда изменения лучевых скоростей звезды), наибольшее число обнаруженных спутников лежит в интервале сравнительно малых планетных масс (0–10 масс Юпитера). Это свидетельствует о том, что распространенность планетных систем среди звезд солнечного типа весьма велика, не ниже чем распространенность двойных и кратных звезд, которая составляет ~50%. Таким образом, новейшие наблюдательные данные свидетельствуют о том, что важнейшее необходимое условие существования жизни вне Земли и внеземных цивилизаций выполняется: планетные системы существуют около многих звезд и их число в Галактике составляет не менее 10% от общего числа звезд, то есть порядка 10 млрд.

Перейдем к рассмотрению свойств отдельных планет вне Солнечной системы. Свойства планеты около звезды 47 UMa близки к свойствам Юпитера. Орби-

Таблица 3. Характеристики планет около некоторых звезд солнечного типа

Звезда	Орбитальный период P , сутки	Полуамплитуда лучевых скоростей K , м/с	Эксцентриситет орбиты e	$m \sin i$, в массах Юпитера
47 UMa	1092	47,3	0,09	2,38
16 Cyg B	802	50,3	0,68	1,67
70 Vir	116,5	316	0,40	6,73
ρ Cr B	39,6	67	0,03	1,1
55 ρ^1 Cnc	14,65	75,9	0,04	0,85
ϵ And	4,62	71,9	0,15	0,61
51 Peg	4,231	56,0	0,01	0,44
τ Boo	3,3125	468	0,00	3,66

тальный период этой планеты – три года, эксцентриситет орбиты $e = 0,09$, величина большой полуоси орбиты $a = 2,1$ а.е., нижний предел массы составляет 2,4 массы Юпитера. Планеты-гиганты, как следует из теории их образования, должны формироваться за пределами расстояния от центральной звезды, соответствующего конденсации льда, и иметь почти круговые орбиты с размером большой полуоси по крайней мере в несколько астрономических единиц. Большая полуось орбиты для планеты у звезды 47 UMa (2,1 а.е.) несколько меньше, чем следует из теории. Возможно, что после образования из вещества протопланетного диска планета у звезды 47 UMa подверглась орбитальной миграции внутри этого диска и приблизилась к центральной звезде. Орбитальная миграция планет внутри протопланетного диска предсказывается современной теорией

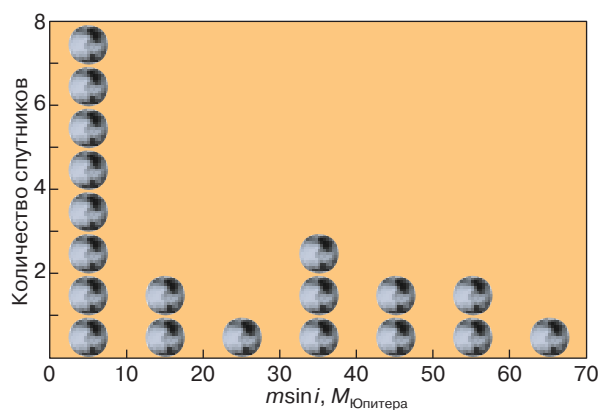


Рис. 5. Гистограмма распределения по массам спутников у звезд солнечного типа. Число обнаруженных маломассивных спутников с планетными массами (0–10 масс Юпитера) наибольшее, хотя условия их обнаружения наихудшие. Это свидетельствует о большой распространенности планетных систем около звезд

формирования планетных систем и связана с приливным взаимодействием планеты с веществом диска, что приводит к уменьшению орбитального углового момента планеты и соответственно изменению параметров ее орбиты. Кроме того, благодаря действию вязкости в протопланетном диске существует поток вещества к звезде, который увлекает планету, что способно за многие миллионы лет приблизить планету к звезде. Примерами планет, по-видимому подвергшихся орбитальной миграции, могут служить планеты около звезд ρ Cr B и 55 ρ^1 Cnc, у которых размеры больших полуосей орбит составляют всего 0,24 и 0,11 а.е. соответственно, а массы весьма велики — $m \sin i = 1,1$ и 0,85 массы Юпитера. Пять планет из табл. 3 с массами порядка массы Юпитера имеют периоды менее 40 суток, откуда следует, что радиусы их орбит менее 0,23 а.е., то есть почти вдвое меньше радиуса орбиты Меркурия. В трех случаях (U And, 51 Peg, τ Boo) орбитальные периоды гигантских планет с массой порядка массы Юпитера составляют 3–4 суток, то есть радиусы орбит порядка 0,04 а.е., что в десять раз меньше радиуса орбиты Меркурия!

Таким образом, экстремальная близость гигантских планет к центральной звезде — весьма распространенное явление в мире планетных систем около звезд солнечного типа. Этот новый наблюдательный факт принципиально важен для понимания механизмов формирования планет из протопланетных облаков вокруг звезд.

Новым фактом, также имеющим большое значение для космогонических теорий, является обнаружение значительных эксцентриситетов орбит гигантских планет у ряда звезд, например 70 Vir ($P = 116,5$ дня, $e = 0,40$, $m \sin i = 6,73 M_{\text{Юпитера}}$) и 16 Cyg B ($P = 802$ дня, $e = 0,68$, $m \sin i = 1,67 M_{\text{Юпитера}}$). Столь большие эксцентриситеты орбит гигантских планет могли появиться в результате действия двух механизмов. В первом случае движение зародышей планет в протопланетном диске порождает в нем спиральные волны плотности, обратное гравитационное воздействие которых на планету увеличивает эксцентриситет ее орбиты. Во втором случае большой эксцентриситет орбиты планеты достигается в результате действия гравитационных возмущений со стороны других планет системы. В этой связи важно отметить, что, если бы Юпитер в Солнечной системе имел орбиту с большим эксцентриситетом, его переменное возмущающее гравитационное воздействие на планеты земной группы привело бы к их испарению из Солнечной системы и жизнь в Солнечной системе была бы невозможной...

Таким образом, простой взгляд со стороны на планетные системы около звезд солнечного типа позволяет нам глубже понять планетную космогонию и проблемы, связанные с существованием внеземной жизни.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. КАК ПОБЕДИТЬ МОЛЧАНИЕ КОСМОСА

Итак, современные наблюдения показывают, что планетные системы существуют у многих звезд Галактики, число которых, по-видимому, достигает нескольких миллиардов. Почему же мы до сих пор, несмотря на неизмеримо возросшую мощь наших наблюдательных средств во всех электромагнитных диапазонах, несмотря на специальные тщательные поиски, не уловили сигналов внеземных цивилизаций? Почему до сих пор мы не имеем убедительных свидетельств посещения Земли внеземными существами? Этот отнюдь не риторический вопрос был поставлен И.С. Шкловским в 1985 году. На вопрос: “Почему Космос молчит?” — И.С. Шкловский ответил так: скорее всего, земная цивилизация является уникальной и практически единственной во Вселенной. И.С. Шкловский рассматривал две основные причины молчания Космоса: либо условия для зарождения жизни и тем более разумной жизни чрезвычайно специфичны и крайне редко реализуются на планетах Вселенной, либо при достаточной распространенности жизни во Вселенной время существования разумных форм жизни (внеземных цивилизаций) относительно коротко — не превышает сотни тысяч лет.

Анализ проблемы происхождения жизни во Вселенной и внеземных цивилизаций далеко выходит за рамки нашей статьи. Мы отсылаем интересующегося читателя к последнему изданию книги И.С. Шкловского [1]. Ограничимся лишь перечислением будущих космических экспериментов по обнаружению новых планетных систем около звезд и поиску проявлений жизни на них, которые помогут человечеству лучше осознать свое место во Вселенной.

В течение ближайших пяти лет будут реализованы наземные интерферометрические системы на базе крупнейших телескопов нового поколения (10-метровые телескопы Кека в США, телескоп VLT Южно-Европейской обсерватории и др.). Эти системы обеспечат астрометрический поиск планет вокруг ближайших звезд путем измерения их положений с точностью лучше одной миллисекунды дуги. Российский космический астрометрический эксперимент “Ломоносов” также позволит искать планеты около звезд астрометрическим способом, поскольку точность определения положений звезд в данном случае будет порядка или лучше 10^{-4} секунды дуги. В начале XXI века Французское космическое агентство планирует запуск космического аппарата (“Corot”) для высокоточных фотометрических наблюдений затмений звезд окружающими их планетами. В течение ближайших 20 лет некоторые страны планируют запуск космических инфракрасных интерферометров

(проекты “Darvin”, “Planet Finder” и др.). Эти интерферометры позволят непосредственно увидеть планеты вокруг звезд, и есть надежда даже снять спектры этих планет, что много труднее, чем просто получить их изображения.

Главная задача спектральных наблюдений планет — поиск линий и полос кислорода. Почему именно кислорода? Дело в том, что кислород в атмосфере — верный признак наличия жизни на планете. Кислород — химически очень активный элемент и легко вступает в соединения с различными веществами поверхности планеты. Поэтому для поддержания высокой концентрации кислорода в атмосфере планеты требуется непрерывно действующий источник его поступления. Таким источником в атмосфере Земли является жизнедеятельность растений, основанная на явлении фотосинтеза. В течение длительной истории Земли жизнедеятельность растений очистила земную атмосферу от углекислого газа и насытила ее молекулами кислорода. Как отметил И.С. Шкловский, если бы жизнедеятельность растений (которая поставляет в атмосферу Земли ежегодно $\sim 10^{11}$ т чистого кислорода) прекратилась, то за очень короткое время ($\sim 10^4$ лет) химически очень активные молекулы кислорода вступили бы в соединения с веществами поверхности Земли и кислород исчез бы из земной атмосферы.

Получение прямых изображений планет будет возможно также в космическом эксперименте “Фомальгаут”, предложенном астрономами ГАИШ МГУ. Основная идея эксперимента — использование супергладких, то есть обладающих очень высоким качеством полировки, зеркал, изготовленных по специальной технологии и позволяющих снизить уровень рассеянного света в телескопе на четыре порядка по сравнению с обычной оптикой. Наконец, в ближайшем десятилетии

ряд групп планируют продолжение спектральных доплеровских наблюдений многих сотен звезд солнечного типа с целью поиска планет, а также поиск планет около звезд по наблюдениям эффектов гравитационного микролинзирования.

Будем надеяться, что после проведения описанных экспериментов человечество сможет посмотреть на проблему жизни вне Земли не так пессимистично, как сейчас.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Шкловский И.С. Вселенная, жизнь, разум. М.: Наука, 1987.
2. Ксанфомалити Л.В. Парад планет. М.: Наука—Физматлит, 1997.
3. Энциклопедия для детей. М.: Аванта, 1997. Т. 8: Астрономия.
4. Нестеров В.В., Овчиников А.А., Черепашук А.М., Шеффер Е.К. Астрометрический космический проект “Ломоносов” // Земля и Вселенная. 1990. № 2. С. 10—19.
5. Черепашук А.М. Гравитационное микролинзирование и проблема скрытой массы // Соросовский Образовательный Журнал. 1998. № 3. С. 92—99.
6. Сурдин В.Г. Каталог экзопланет // Природа. 2000. № 7. С. 21—22.

Рецензент статьи В.М. Липунов

* * *

Анатолий Михайлович Черепашук, доктор физико-математических наук, профессор, зав. кафедрой астрофизики и звездной астрономии физического факультета МГУ, директор Государственного астрономического института им. П.К. Штернберга МГУ, член-корреспондент РАН. Область научных интересов — физика тесных двойных звезд, обратные задачи астрофизики. Автор свыше 250 научных работ и десяти монографий.