



№ 3 (82), 2013
МАРТ

НАУКА@ ТЕХНИКА

Science & Technology



ЗПРК «ТУНГУСКА»



ТРИЦИКЛЫ



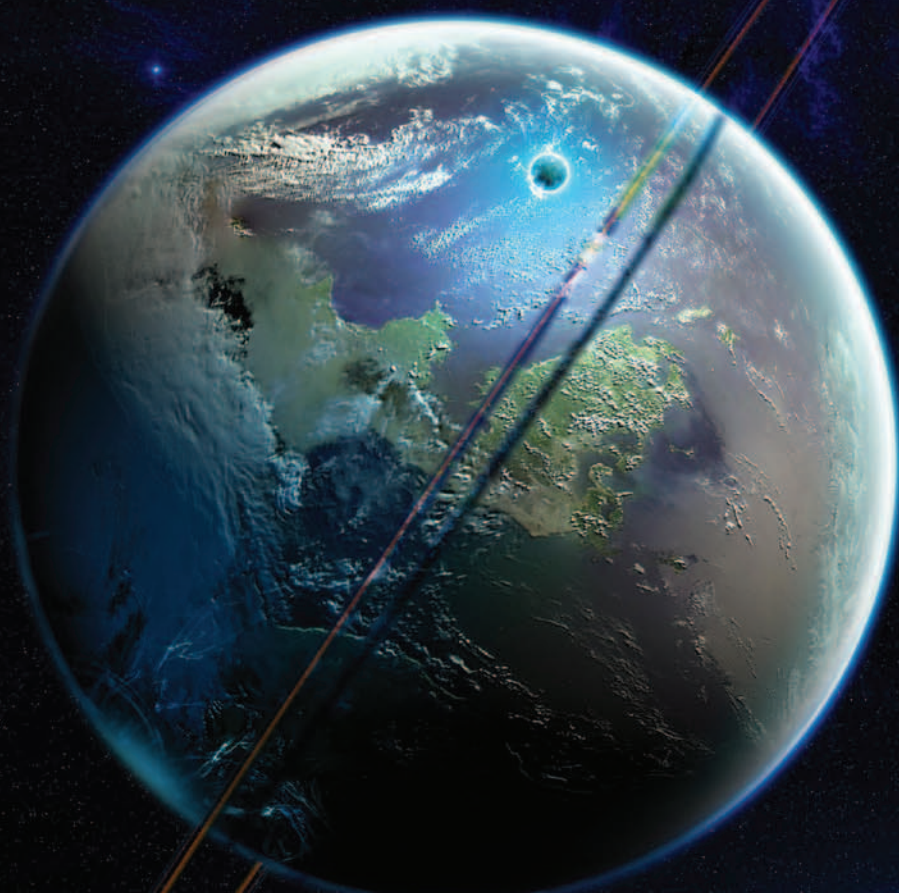
ГРУЗОВИК
Ми-26



ПРИРУЧЕНИЕ
КОШКИ



МОНАРХИЯ В
РОССИИ



НЕВЕРОЯТНЫЕ ПЛАНЕТЫ

Майкл Вернер (*Michael W. Werner*), Майкл Юра (*Michael A. Jura*)

НЕВЕРОЯТНЫЕ ПЛАНЕТЫ

АСТРОНОМЫ НАХОДЯТ ПЛАНЕТЫ ДАЖЕ ТАМ, ГДЕ НЕ ПРЕДПОЛАГАЛИ

Астрономы находят планеты даже там, где не предполагали. Белые карлики – очень странные небесные тела: имея массу примерно как у Солнца, они одни из самых тусклых звезд и постепенно становятся все тусклее, не подчиняясь обычному соотношению между массой звезды и ее блеском. Астрономы полагают, что белые карлики – это не звезды, а их трупы. Каждый белый карлик был когда-то похож на Солнце и светил так же ярко. Но когда топливо кончилось, звезда вступила в стадию агонии: ее ядро сжалось в 100 раз, до размера Земли, яркость возросла в 10 тыс. раз, и она сбросила внешние слои, а затем медленно остывала, и блеск ее ослабевал.

Но эта история могла быть еще печальнее. Мы с коллегами обнаружили в нашей Галактике более дюжины белых карликов, вокруг которых обращаются астероиды, кометы и, возможно, даже планеты – целое кладбище миров. Пока звезды были еще живы, они ежедневно восходили на небе каждой планеты, согревали ее почву и вызывали ветерок. Живые организмы могли впитывать их лучи. Но когда звезды умирают, они испаряют или проглатывают и сжигают свои внутренние планеты, оставляя только тела на далекой холодной периферии системы. Со временем карлики теряют и эти выжившие объекты. Распад подобных систем демонстрирует нам жестокую картину будущего нашей Солнечной системы, когда через 5 млрд лет наше Солнце умрет.

Астрономы всегда полагали, что не только вокруг Солнца, но и вокруг других звезд могут обращаться планеты. Мы ожидали найти системы, подобные нашей Солнечной, где в центре находится звезда, похожая на Солнце. Но сейчас, открыв за 15 лет множество планетных систем, мы видим, что внесолнечные системы могут сильно отличаться от нашей. Первой была система 51 Пегаса, состоящая из звезды, похожей на Солнце, и планеты более массивной, чем Юпитер, обращающейся вокруг звезды на расстоянии меньшем, чем Меркурий удален от Солнца. С повышением чувствительности приборов были открыты еще более странные объекты. Похожая на Солнце звезда HD 40307 имеет три планеты с массами от четырех до десяти масс Земли, орбиты которых меньше половины орбиты Меркурия. Солнцеподобная звезда 55 Рака А имеет не менее пяти планет с массами от 10 до 1000 земных масс. Размеры их орбит –

от одной десятой орбиты Меркурия до размера орбиты Юпитера. Такое не смогли придумать даже фантасты.

Системы с белыми карликами доказывают, что вовсе не обязательно, чтобы звезда была похожа на Солнце. Планеты и астероиды могут обращаться вокруг объектов, которые по размеру не больше самих планет. Разнообразие подобных систем не меньше, чем у обычных звезд. Астрономы не ожидали такой распространенности планетных систем, их устойчивости и универсальности процессов их формирования. Так что Солнечная система вовсе не типичная планетная система и прибежище жизни во Вселенной.

ФЕНИКС, ВОССТАВШИЙ ИЗ ПЕПЛА

Сегодня порой забывают, что первые планеты вне Солнечной системы были открыты у звезды, совершенно не похожей на Солнце. Этот объект – нейтронная звезда PSR 1257+12 – удивляет даже больше, чем белый карлик. Ее масса больше чем у Солнца, а размер – как у скромного астероида, около 20 км. Этот монстр родился при взрыве сверхновой звезды в 20 раз массивнее Солнца; и взрыв был гораздо мощнее, чем агония солнцеподобных звезд. Трудно представить, как при этом смогли выжить планеты. Более того, взорвавшаяся звезда могла иметь радиус более 1 а.е. (астрономическая единица – расстояние от Земли до Солнца). А это больше размера орбит планет, которые мы видим сегодня. Оба факта указывают, что планеты родились из пепла взрыва.

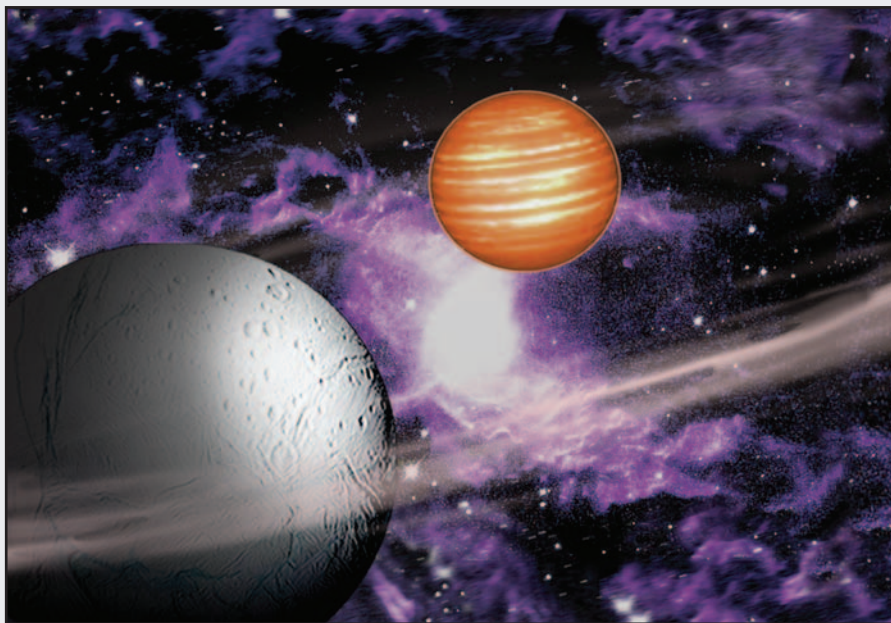
ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Почти никто из астрономов не ожидал такого разнообразия планетных систем. Самые удивительные из них – те, в которых планеты обращаются вокруг нейтронных звезд, белых карликов и коричневых карликов.
- Нейтронные звезды рождаются при взрывах сверхновых, а планеты вокруг них, вероятно, образуются из остатков взрыва. Тела, обращающиеся вокруг белых карликов, достались им по наследству от родительской звезды. А коричневые карлики сами не намного массивнее планет, но планеты, судя по всему, могут формироваться и около них.

Несмотря на то что обычно сверхновые выбрасывают свой газ в межзвездное пространство, небольшая часть вещества за счет притяжения падает обратно и образует диск вокруг остатка звезды. В таких дисках и рождаются планеты. Астрономы считают, что Солнечная система обрела свою форму, когда аморфное межзвездное облако из газа и пыли сжалось под собственным весом. Сохранение углового момента не позволило некоторому количеству вещества упасть на новорожденное Солнце, а сформировало из него диск, внутри которого газ и пыль сгустились в планеты. Подобное могло произойти и в диске, возникшем после взрыва сверхновой.

Астрономы открыли планетную систему вокруг объекта PSR 1257+12, обнаружив периодические сбои в моментах прихода его радиоимпульсов. Эти сбои возникают из-за того, что обращающиеся вокруг звезды планеты притягивают звезду и периодически ее сдвигают, изменяя расстояние, которое проходят импульсы. Несмотря на интенсивные исследования сигналов от других звезд, больше не найдено ни одной похожей системы. Другой пульсар, PSR B1620-26, имеет по крайней мере одну планету, но она обращается так далеко от него, что, по мнению астрономов, не могла образоваться в диске из вещества сверхновой, а была захвачена у другой звезды.

В 2006 г. космический телескоп «Спитцер» (NASA) обнаружил инфракрасное излучение от нейтронной звезды 4U 0142+61. Оно может возникнуть в магнитосфере звезды или в околозвездном диске. Сама звезда родилась во время вспышки сверхновой примерно



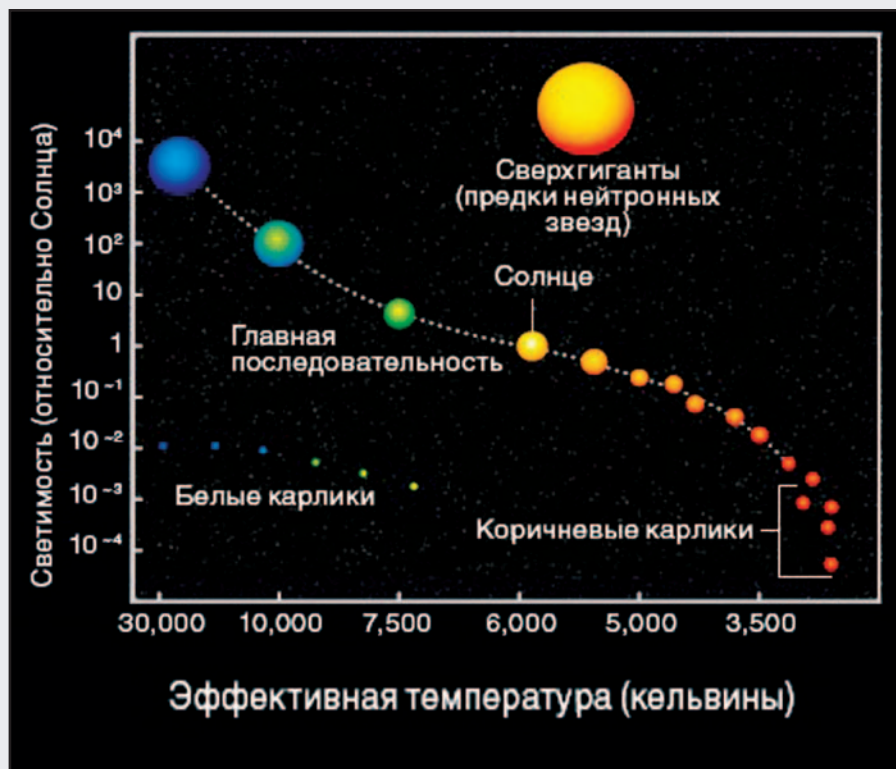
Коричневый карлик — это настолько маленькая звезда (порою чуть массивнее крупной планеты), что она почти не светит. Астрономы не рассчитывали найти планеты рядом с такими карликами. Но сейчас они видят намеки на существование миниатюрных планетных систем, формирующихся вокруг коричневых карликов и других удивительных объектов

100 тыс. лет тому назад, и обычно требуется примерно миллион лет для формирования планет. Поэтому, если инфракрасное излучение говорит о наличии диска, то эта система со временем может стать такой же, как PSR 1257+12.

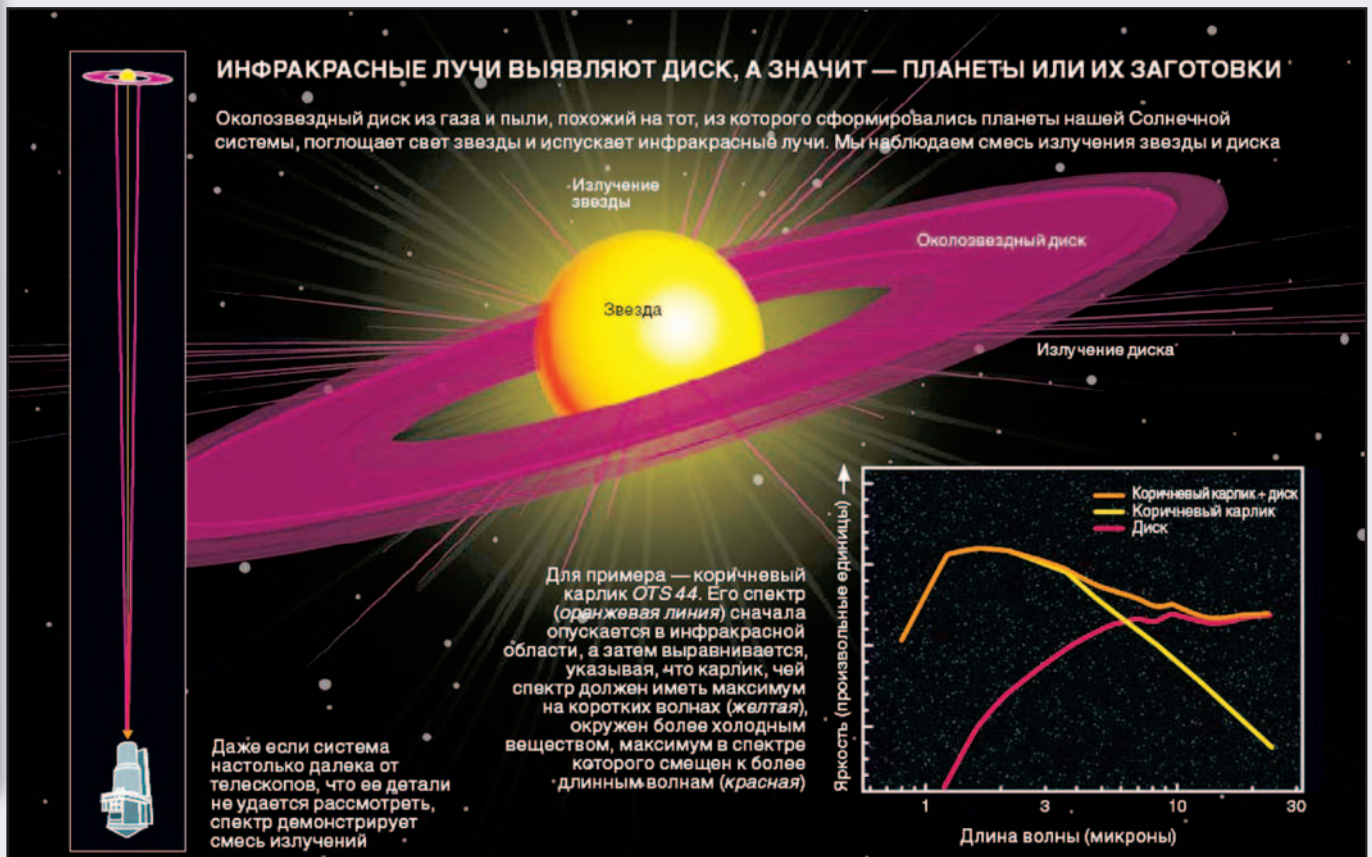
Многие белые карлики также имеют диски, но несколько иного типа: они скорее указывают на наличие обращающихся тел, а не на возможность их формирования. Как и в случае 4U 0142+61, основ-

ным их признаком служит неожиданное инфракрасное излучение. Первые данные были получены в 1987 г. наземным инфракрасным телескопом на вершине Мауна-Кеа (Гавайи). В спектре белого карлика G 29-38 был обнаружен избыток инфракрасного излучения, соответствующий спектру тела с температурой 1200 К, что гораздо меньше температуры поверхности звезды в 12 тыс. К.

Вначале астрономы подумали, что рядом с этим белым карликом обращается вторая, более холодная звезда, но в 1990 г. обнаружили, что инфракрасное излучение меняется в унисон с собственным блеском звезды. Это свидетельствует о том, что инфракрасный избыток возникает при переизлучении звездного света. Скорее всего, его источником служит околозвездный диск, нагреваемый звездой. У этой звезды есть еще одна особенность. Ее внешний слой содержит тяжелые элементы, такие как кальций и железо, что странно, поскольку гравитационное поле у поверхности белого карлика такое сильное, что эти элементы должны были утонуть. В 2003 г. один из авторов предложил простое объяснение как инфракрасного избытка, так и наличия тяжелых элементов: рядом с белым карликом недавно разрушился астероид, захваченный его мощным гравитационным полем. Каскад столкновений превратил обломки астероида в орбитальный пылевой диск, который стягивается к звезде.



Самым естественным местом для поиска планетных систем астрономы считали нормальные звезды, расположенные на так называемой главной последовательности, связывающей температуру и светимость звезды. Но оказалось, что планетные системы есть и у объектов, лежащих вне главной последовательности — у белых и коричневых карликов



АСТЕРОИДЫ НА ДЕСЕРТ

Данную идею подтвердили дальнейшие наблюдения. Астрономы использовали наземные телескопы и космический телескоп «Спитцер». Было выявлено 15 белых карликов с похожим инфракрасным избытком и аномалией химического состава. Для G 29-38 и семи других звезд «Спитцер» пошел дальше и зарегистрировал инфракрасное излучение в диске силикатных частиц, которые похожи на межпланетные пылинки Солнечной системы и заметно отличаются от частиц межзвездной пыли. Более того, внешние слои этих звезд содержат тяжелые элементы в совершенно уникальной пропорции: там сравнительно мало углерода и натрия, характерных для летучих веществ, но много кремния, железа и магния, обычно содержащихся в твердых веществах. Такой химический состав характерен для астероидов и твердых планет Солнечной системы. Все это свидетельствует в пользу предположения, что диск состоит из обломков астероидов.

Диски вокруг белых карликов гораздо меньше протопланетных дисков вокруг новорожденных солнцеподобных звезд. Судя по их

инфракрасному излучению, они простираются всего на 0,01 а.е. и по массе не превосходят астероида диаметром 30 км, что подтверждает предположение об их происхождении из такого объекта. Они не могут быть местом формирования новых планет, а скорее показывают, что некоторое количество планетного вещества осталось после гибели звезды. Согласно расчетам, астероиды и планеты земного типа могут избежать разрушения, если они движутся по орбите радиусом более 1 а.е. Когда Солнце умрет, Марс уцелеет, а вот судьба Земли пока под вопросом.

Чтобы выяснить, может ли сохраниться часть планетной системы, «Спитцер» в 2007 г. наблюдал белый карлик WD 2226-210. Он так молод, что внешние слои исходной звезды солнечного типа еще видны вокруг него как туманность «Улитка», одна из самых известных планетарных туманностей. Следовательно, WD 2226-210 служит недостающим звеном между звездами солнечного типа и старыми белыми карликами, такими как G 29-38. Вокруг WD 2226-210 имеется пылевой диск радиусом 100 а.е., что сравнимо с размером Солнечной системы. Диски других белых карликов не

СИЯЮЩИЕ ВО ТЬМЕ

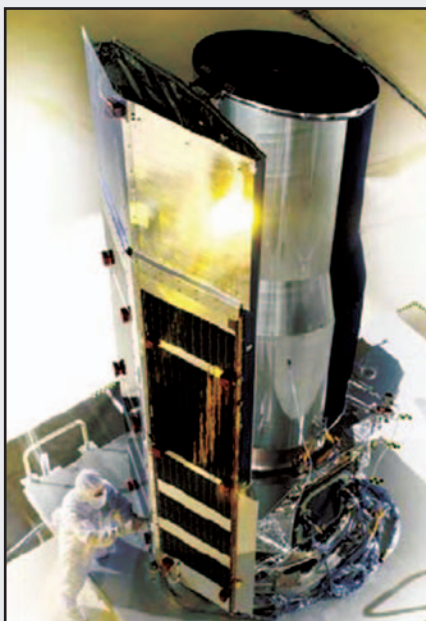
Астрономы обнаруживают планеты, как правило, по косвенным признакам: по их влиянию на скорость, положение или блеск родительской звезды. В большинстве случаев, рассмотренных в этой статье, астрономы сосредоточили внимание на одном косвенном признаке — на присутствии вокруг звезды пылевого диска. Протопланетные диски возникают вокруг новорожденных звезд; считается, что в них формируются планеты. А обломочные диски возникают вокруг зрелых звезд; считается, что они образуются из-за взаимных соударений и испарения комет и астероидов, указывая на возможное наличие планет в настоящем или в прошлом. Оба типа дисков наблюдатели выявляют по тому, как они поглощают свет звезды и переизлучают поглощенную энергию в инфракрасном диапазоне (рис. справа). Телескоп «Спитцер» (NASA), запущенный в 2003 г., показал себя настоящей машиной для обнаружения дисков. Его инфракрасная камера широкого поля захватывает сотни звезд и выявляет из них для дальнейшего изучения те, у которых есть признаки диска. «Спитцер» был создан на основе успешной работы предыдущих инфракрасных телескопов, таких как Инфракрасный астрономический спутник (Infrared Astronomical Satellite, IRAS), работавший в 1980-х гг., и Инфракрасная космическая обсерватория Европейского космического агентства (Infrared Space Observatory, ISO), летавшая в середине 1990-х гг. В отличие от IRAS, который сделал обзор всего неба, «Спитцер» наблюдает отдельные небесные объекты и проводит их тщательное исследование; а более чем пятилетний срок работы его хладагента из жидкого гелия намного превзошел время работы предыдущих аппаратов. Этот телескоп изучал все — от внесолнечных планет до галактик в молодой Вселенной. После окончания наблюдений с помощью «Спитцера», его функции возьмут на себя недавно запущенная космическая обсерватория «Гершель» и космический телескоп «Уэбб», запуск которого запланирован на 2013 г.

простираются так далеко. На таком расстоянии гравитация карлика не может разрушать астероиды. Так что этот диск должен состоять из пыли, образовавшейся при столкновениях комет и астероидов. Похожие обломочные диски есть вокруг Солнца и подобных ему звезд.

Данное открытие подтверждает: когда солнцеподобная звезда умирает, далекие астероиды и кометы могут уцелеть. А если могут сохраниться астероиды и кометы, то гораздо более прочные планеты — тем более. По мере остывания WD 2226210 будет все слабее освещать пыль, и далекий пояс из астероидов и комет станет невидимым. Но иногда объекты из этого пояса могут подлетать близко к белому карлику и разрушаться.

ЗВЕЗДОЧКИ

Третий тип отличных от Солнца звезд, которые могут иметь планеты, — это коричневые карлики, которые совсем не похожи на белые, несмотря на схожесть их названий. Коричневые карлики — это не трупы звезд, а карликовые звезды. Они формируются точно так же, как обычные, но их рост останавливается при массе менее 8% массы Солнца — минимальная величина, необходимая, чтобы ядро звезды стало достаточно горячим и плотным для поддержания ядерных реакций. Самое большое, на что они способны, это слабое инфракрасное излучение за счет тепла, накопленного при формировании объекта (и, возможно, короткого раннего периода ядерных реакций). За последние 15 лет обнару-



Космический телескоп «Спитцер» — инфракрасный коллега космического телескопа «Хаббл» — во время сборки

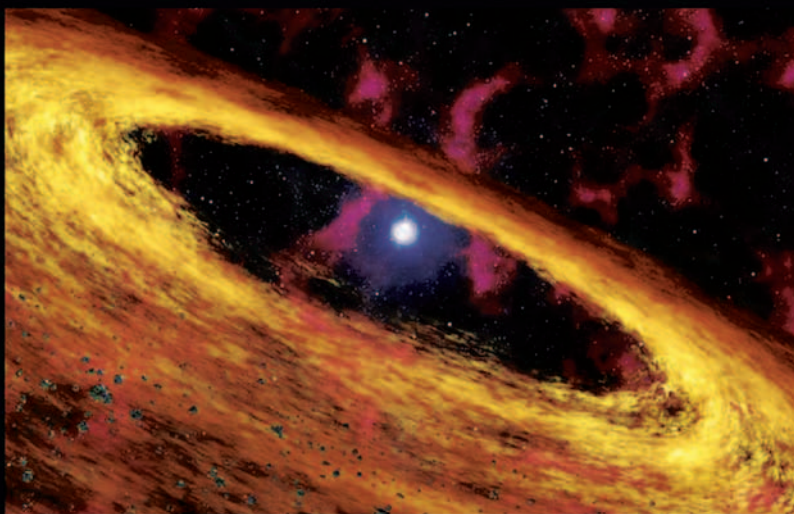
жены сотни коричневых карликов, причем самые легкие из них лишь чуть массивнее гигантских планет.

Астрономы выяснили, что эти тела, даже самые маленькие, могут иметь диски, а следовательно, и планеты. Возможность существования планет подтверждается наблюдениями, показавшими, что диски коричневых карликов претерпевают изменения, включая снижение максимума в инфракрасном излучении силикатов, свидетельствующее о слипании частиц пыли. Подобные изменения наблюдаются и в дисках вокруг более крупных звезд, указывая на рост зародышей планет. Диски коричневых карликов слишком скудны для образования планет размером с Юпитер, но в них достаточно вещества для формирования объектов, подобных Урану или Нептуну. Некоторые астрономы заявляют, что обнаружили планеты у коричневых карликов, но ни одно из этих открытий пока не подтверждено.

Таким образом, астрономы нашли планеты по крайней мере у одной нейтронной звезды, астероиды и кометы вокруг более чем дюжины белых карликов и признаки ранних стадий их формирования вблизи коричневых карликов. В конечном счете, исследования этих и других внесолнечных систем преследуют две цели. Первая — узнать как можно больше о нашей Солнечной системе, в частности, о ее эволюции и крупномасштабной структуре. Эти характеристики трудно понять за короткое время, да еще находясь внутри

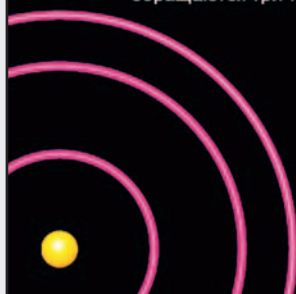
СИСТЕМЫ НЕЙТРОННЫХ ЗВЕЗД

Нейтронные звезды — самые странные и неожиданные обладатели планетных систем. Нейтронная звезда *4U 0142+61*, родившаяся при взрыве сверхновой 100 тыс. лет назад, окружена диском из остатков взорвавшейся звезды (справа, рисунок художника). Это вещество может собираться в зародыши будущих планет (серые куски)



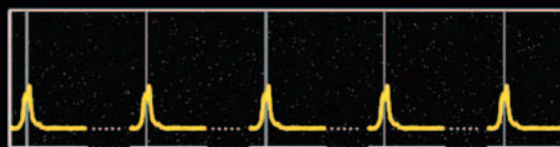
НЕЙТРОННАЯ ЗВЕЗДА + ДИСК
 Название системы: *4U 0142+61*
 Возраст системы: 100 тыс. лет
 Радиус звезды: 10 км
 Радиус диска: 1 астрономическая единица (а.е.)

Другая нейтронная звезда *PSR 1257+12* имеет настоящие планеты. Моменты прихода ее радиоимпульсов немного колеблются (справа), указывая, что вокруг звезды обращаются три тела (внизу)



НЕЙТРОННАЯ ЗВЕЗДА + ПЛАНЕТЫ
 Название системы: *PSR 1257+12*
 Возраст системы: 800 млн лет
 Радиус звезды: 10 км
 Радиусы орбит планет: 0,19; 0,36; 0,46 а.е.
 Массы планет: 0,02; 4,3; 3,9 масс Земли

Равномерный приход импульсов (нет планет)



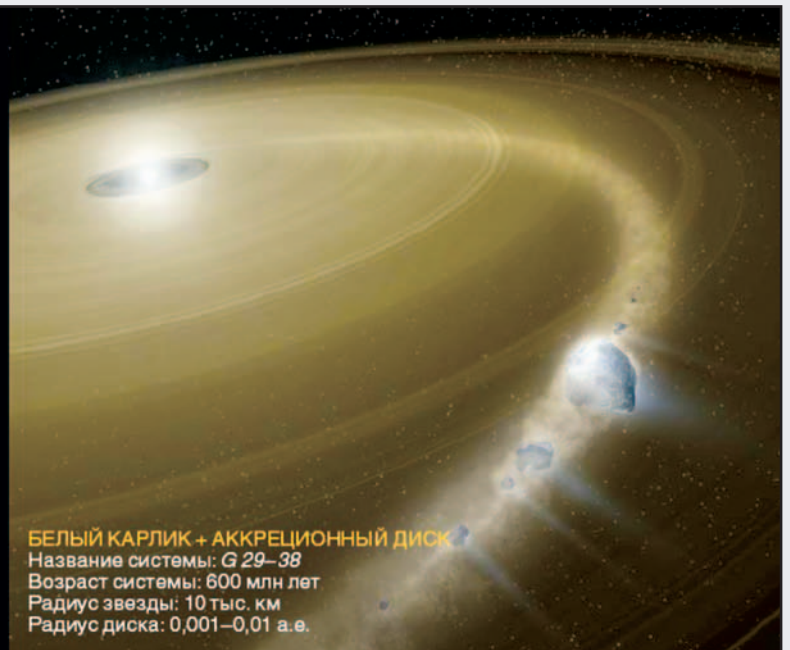
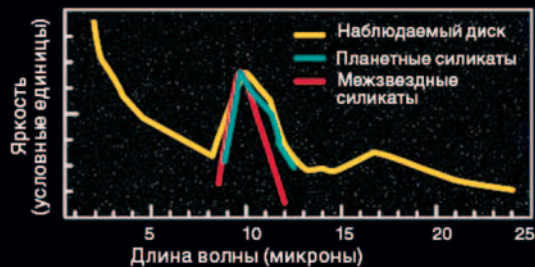
Неравномерный приход импульсов (есть планеты)



Эпоха (годы)

СИСТЕМЫ БЕЛЫХ КАРЛИКОВ

Многие белые карлики окружены маленькими дисками, вероятно, из вещества разрушенных астероидов (справа, рисунок художника). У некоторых из этих дисков астрономы видят спектральные признаки силикатов. Спектр показывает, что это планетные силикаты (зеленая кривая на графике), а не межзвездные (красная кривая). Все признаки свидетельствуют о том, что мелкие тела, а возможно, и планеты, пережили бурное рождение карлика и до сих пор движутся во внешних, невидимых областях системы.



системы. Мы надеемся определить статус Солнечной системы: типичная ли она или особенная? При всем разнообразии планетных систем формируются ли они одинаковым путем? Подобие химического состава астероидов Солнечной системы и вещества, падающего на белые карлики, намекает на положительный ответ на данный вопрос. Вторая цель — понять, насколько широко распространена жизнь во Вселенной. Среди наших галактических соседей коричневых карликов примерно столько же, сколько и звезд. Может ли ближайший к Солнцу объект оказаться еще не открытым коричневым карликом? Могут ли ближайшие к Солнечной системе планеты принадлежать коричневому карлику? Спутник для широкопольных инфракрасных обзоров (Wide-field Infrared Survey Explorer, WISE) может открыть несколько коричневых карликов, расположенных ближе известных ближайших звезд. Формирование планет земного типа вблизи коричневых карликов могло бы не только расширить область потенциальных мест нашего обитания, но и открыть захватывающую возможность того, что ближайшая к нам внеземная жизнь просыпается по утрам в лучах коричневого карлика.

Наконец, наличие астероидов и комет вокруг белых карликов повышает вероятность не только сохранения планет после гибели солнцеподобных звезд, но и возможность продолжения на них жизни при условии, что биосфера сможет приспособиться к изменившимся условиям вблизи мертвой звезды. В конце концов, быть может, окрестности белого карлика — не такое уж мрачное место.

ПЛАНЕТНАЯ ДРАЗНИЛКА

Доналд Голдсмит (Donald Goldsmith)

Астрономы уже на пороге открытия планет, подобных Земле, но узнать, обитаемы ли они, будет нелегко. Космический телескоп «Кеплер» (NASA) 6 марта 2009 г. начал выполнять свою четырехлетнюю программу по обнаружению планет земного типа в Галактике. Как и его предшественник — французский COROT, запущенный в декабре 2006 г., «Кеплер» будет наблюдать избранные звезды, пытаясь заметить ослабление их блеска. Однократное ослабление может означать все, что угодно: возможно, это сбой в энерговыделении звезды. Второе — тоже мало о чем говорит. Третье ослабление блеска, возникшее через такой же интервал времени, как между первым и вторым, уже должно нас насторожить, четвертое через такой же отрезок времени почти наверняка будет означать, что на орбите вокруг звезды движется планета, регулярно проходящая между нами и звездой. Каждый раз, скользя перед звездой, планета закрывает от нас часть излучения звезды. Тело размером с Землю закрывает около одной десятичной доли излучения своей звезды.

В начале 2009 г. COROT обнаружил планету диаметром примерно вдвое больше Земли, которая движется так близко к звезде, что один оборот занимает всего 20 часов. «Кеплер», зеркало которого в три с половиной раза больше, чем у COROTa, может обнаружить десятки и даже сотни планет земного типа, обращающихся вокруг своих звезд на более комфортабельных орбитах. В большинстве проводящихся сейчас проектов по поиску слабогравитационного влияния планет на их звезды невозможно обнаружить столь малые тела. Недостаток метода в том, что орбита



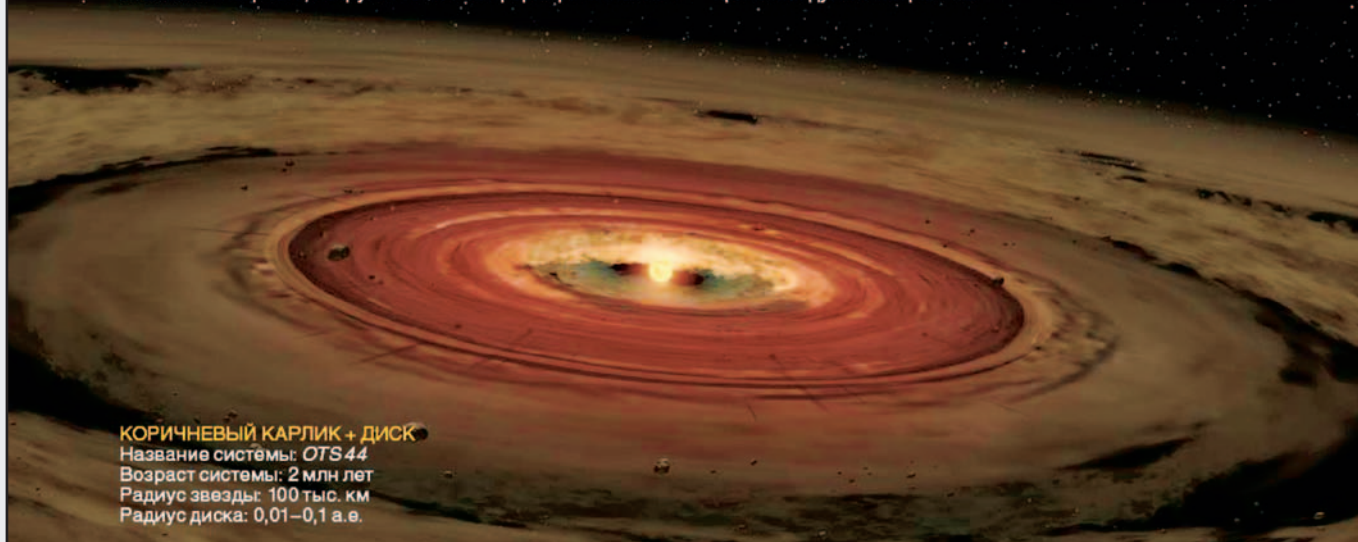
Второй тип обломочного диска вокруг белого карлика виден как красная точка в центре этого инфракрасного снимка туманности «Улитка». Вероятно, данный диск подобен кометному поясу Койпера в Солнечной системе. Такие же диски могут быть и у других белых карликов, но их труднее заметить, поскольку те белые карлики намного старше и поэтому слабее освещают свой диск.

БЕЛЫЕ КАРЛИКИ + ДИСК ИЗ ОБЛОМКОВ
 Название системы: WD 2226-210 (туманность «Улитка»)
 Возраст системы: 10 тыс. лет
 Радиус звезды: 10 тыс. км
 Радиус диска: 100 а.е.

СИСТЕМЫ КОРИЧНЕВЫХ КАРЛИКОВ

У многих коричневых карликов есть диски, в которых могут формироваться планеты. В одном из них, вокруг *OTS 44*, достаточно вещества для рождения планеты размером с Уран или Нептун. Этому карлику около 2 млн лет. Когда Солнце было в таком же возрасте, вокруг него начали формироваться пла-

неты Солнечной системы. Признаки рождения планет в таких малообещающих местах, как окрестности коричневых карликов, белых карликов и нейтронных звезд, говорят о том, что формирование планет распространено намного шире, чем привыкли думать астрономы



КОРИЧНЕВЫЙ КАРЛИК + ДИСК

Название системы: *OTS 44*
 Возраст системы: 2 млн лет
 Радиус звезды: 100 тыс. км
 Радиус диска: 0,01–0,1 а.е.

планеты должна располагаться примерно в той же плоскости, что и наш луч зрения, а по теории вероятности это возможно лишь в одном случае из ста. Тем не менее «Кеплер» может обнаружить статистически достоверную выборку галактических собратьев Земли.

Но даже если «Кеплер» сделает это, астрономы не получат той информации, которую они мечтали бы иметь. Каковы условия на этих планетах? Насколько они пригодны для жизни? Если перед звездой проходит газовая планета-гигант, то астрономы могут изучать ее атмосферу, определяя степень ослабления света звезды в разных диапазонах спектра; но планеты типа Земли слишком малы для этого. Стратегия поиска в проектах COROT и «Кеплер» выявляет планеты земного типа, но сказать что-то об их природе она не может. Эти телескопы не способны заметить такие признаки жизни на планетах, как характерный цвет хлорофилла или его инопланетного эквивалента. И даже космический интерферометр (Space Interferometry Mission, SIM), запланированный к запуску в 2015 г., не сможет нам рассказать много о планетах типа Земли, которые он откроет.

Приборы, способные оценить возможность жизни на планете, появятся еще не скоро, в основном из-за их дороговизны. Искатель планет земного типа (Terrestrial Planet Finder, TPF) NASA и миссия «Дарвин» (ESA) смогут проводить спектроскопические исследования поверхности и атмосферы планет, но ни один из них еще не продвинулся дальше этапа проектирования. Даже если оба агентства объединят свои ресурсы, проект будет стоить около \$2 млрд, а для его воплощения потребуются десять лет. Сейчас вся надежда на получение новой информации о планетах — на космический телескоп «Уэбб» (James Webb Space Telescope, JWST), чей запуск запланирован в 2013 г., и на наземные телескопы. Хотя эти инструменты не созданы специально для изучения планет, их можно снабдить аппаратурой, способной отсекаать свет звезды, что позволит увидеть малые тела, тонущие

в звездном блеске. Они могут получить изображения молодых планет-гигантов, если те обнаружатся у ближайших звезд. Кроме того, они способны собрать спектральные данные о планетах, движущихся очень близко от звезд.

В итоге следующие несколько лет работы телескопов COROT и «Кеплер» будут очень интересными, а затем наступит период сетований на то, что чего-то еще не удалось открыть. Обычно так и бывает: наука движется шаг за шагом. Сделанные открытия стимулируют создание новых космических обсерваторий. Поиск планет в экстремальных условиях (вблизи нейтронных звезд, белых карликов и коричневых карликов) покажет, насколько распространено рождение планет. Но мы должны быть готовы к тому, что нам еще долго придется выяснять, насколько уникальна наша Земля среди других космических тел.



Если планета слишком мала, чтобы ее увидеть, она может выдать себя, проходя перед своей звездой и немного уменьшая ее блеск