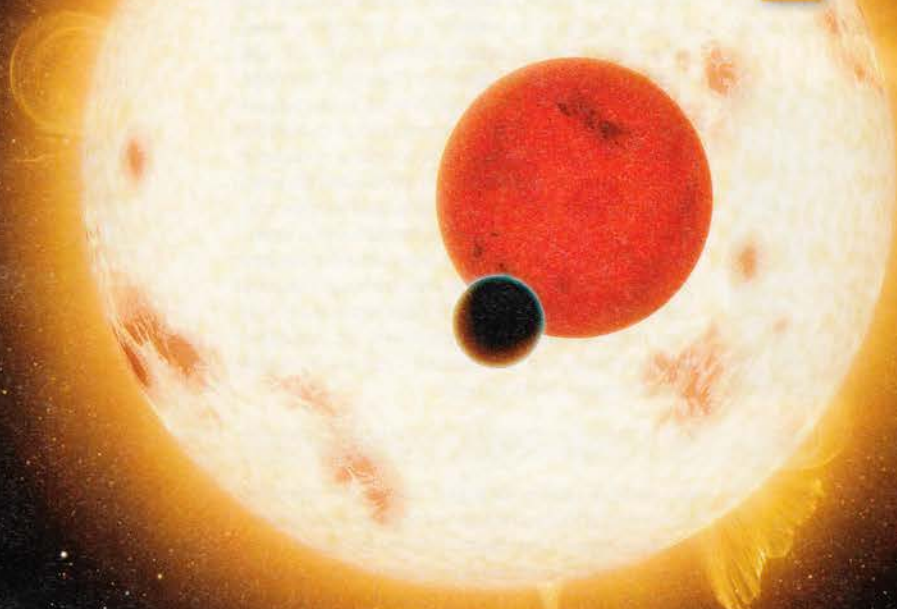


Пригоршня новых миров



Всего пару десятков лет назад астрономы могли лишь догадываться о существовании планет у других звезд. Открытие первой экзопланеты в 1991 году казалось чудом. Как это происходит сейчас, рассказывает **Сергей Попов**.

К концу 2011 года было известно уже более 700 подтвержденных экзопланет — планет, вращающихся вокруг других звезд. Эта цифра кажется огромной, если представить себе размеры планет и расстояние, которое их от нас отделяет. Как же астрономы умудряются их разглядеть? Есть два основных способа открывать такие объекты.

Если вокруг какой-то звезды вращается планета, а мы волею судеб находимся почти в плоскости ее орбиты, то каждый оборот она будет оказываться точно между нами и звездой, то есть будет проецироваться на звездный диск. Это называют прохождением

планеты по диску звезды, или транзитом. А сами планеты — транзитными.

Мы будем видеть, как блеск звезды чуть-чуть ослабевает. Зная параметры звезды, по ослаблению ее блеска мы можем определить диаметр планеты. А зная время между последовательными транзитами, — орбитальный период. Так ищут планеты с помощью различных телескопов на Земле и с помощью спутников в космосе: американского «Кеплера» и европейского CoRoT. Ясно, что проще обнаружить большие планеты, которые сильнее затмевают звезду. Кроме того, для надежного отождествления надо пронаблюдать за несколькими тран-

зитами. Значит, проще обнаруживать планеты с короткими орбитальными периодами.

Теперь займемся зимней забавой: покидаем снежки с балкона. Снежок падает всё быстрее и быстрее, потому что его притягивает Земля. Но не будем забывать, что снежок притягивает Землю с точно такой же силой! Просто снежок легкий, и его скорость меняется сильно. А Земля тяжелая — ее скорость меняется крайне мало, но все-таки меняется. Точно так же Земля (и другие планеты), вращаясь вокруг Солнца, влияют на его движение. Наблюдая нашу звезду с большого расстояния, мы заметили бы, ► (см. стр. 52)

Парад открытий

2011

Прошедший год оказался богат на сюрпризы для тех, кто пристально следит за событиями в астрономии и астрофизике.

Согласно базе данных NASA ADS, в 2011 году появилось почти 50 тыс. астрономических публикаций, примерно половина из них — в реферируемых журналах. В *arXiv.org*, с чтения которого начинается утро многих ученых, в астрофизической части за год появилось более 10 тыс. статей. Даже если всё время тратить на чтение оригинальных публикаций, на каждую придется не более 5–10 минут. В одиночку следить за всем практически невозможно. А ведь многие из этих работ содержат очень важные результаты, расширяющие и дополняющие деталями нашу картину мироздания (и это не обязательно обнаружение нового объекта с рекордными характеристиками). Так что обзор наш, возможно, страдает неполнотой — и всё же мы попробуем.

Открытия в фокусе

В прошлом году обнаружены две рекордно массивные черные дыры с массами по 10 млрд солнечных, а также самый далекий квазар с красным смещением более 7. Но важны не рекордные значения. В случае далекого квазара важно, что спустя менее чем 800 млн лет после начала расширения уже существовала очень большая черная дыра в сердце квазара. Ее масса не менее 2 млрд солнечных, что можно оценить по светимости этого объекта (светящегося в процессе поглощения газа из окружающего пространства). Набрать такой вес за несколько сотен миллионов лет сложно. Значит, зародышем этого объекта не могла быть черная дыра, возникшая из звезды первого поколения с массой не более нескольких сотен масс Солнца, как обычно предполагается в моделях эволюции активных галактических ядер.

Говоря о паре очень массивных черных дыр в центрах галактик, надо отметить, что они не просто массивны, а существенно тяжелее, чем им «положено быть». По параметрам галактики можно примерно оценить массу центральной черной дыры. В случае этих самых массивных — дыры оказываются слишком тяжелыми. Это ставит принципиальные вопросы перед теорией образования и роста сверхмассивных черных дыр.

Далекие квазары «просвечивают» межгалактическое вещество своими лучами. Так в прошлом году были обнаружены два далеких межгалактических облака с очень низким содержанием элементов тяжелее водорода. Их там в десять с лишним тысяч раз меньше, чем на Солнце. Исследования облаков позволили сделать два важных вывода. Во-первых, анализ содержания в них дейтерия подтверждает стандартный сценарий модели Большого взрыва. Во-вторых, от начала расширения прошло

уже около 2 млрд лет, а состав облаков соответствует первичному. Позже этот газ может превратиться в звезды. Это означает, что светила, подобные самым первым звездам, могли возникать не только на заре Вселенной, но и гораздо позже.

Одна из главных проблем в современной астрофизике — вопрос о природе темного вещества. Для его разрешения нужно зарегистрировать чрезвычайно редкие взаимодействия частиц темной материи с обычным веществом в лаборатории.

Уже несколько десятилетий разные научные группы во всем мире, используя всё более совершенное оборудование, пытаются достичь этой цели. В 2011 году некоторые рапортовали о новых результатах. Это, в первую очередь, эксперименты CRESST-II, XENON100 и EDELWEISS-II. В первом из них сообщили о необъяснимом сигнале (очень слабом). Второй и третий не увидели существенного превышения сигнала над фоном. Теоретики пока предпринимают попытки разом объяснить все эти данные (а заодно и старые данные с установок DAMA и CoGeNT).

Проверка на прочность

Сейчас стандартной теорией гравитации считается общая теория относительности. Но это не значит, что альтернативных моделей нет или что их не развивают. Поэтому нужно сравнивать предсказания различных конкурирующих теорий в разных условиях. Радослав Войтак (Radoslaw Wojtak) и его коллеги из Копенгагенского университета (Дания) применили оригинальную методику для проверки теорий гравитации. Они использовали наблюдения около 100 тыс. галактик в 8 тыс. скоплений, чтобы выделить эффект гравитационного красного смещения. Теперь можно сравнить профили гравитационных потенциалов скопления, полученные по данным о движении галактик и по красному смещению.

Для разных теорий гравитации результаты должны быть разными. Лучшее всего тест проходит общая теория относительности. Хуже всего — TeVeS (релятивистский вариант модифицированной ньютоновской динамики, являющейся альтернативой моделям с темным веществом).

Наконец, еще одно открытие прошлого года. Впервые удалось надежно идентифицировать далекое протоскопление галактик. Оно наблюдается на красном смещении $z = 5,3$. К тому моменту расширение длилось чуть более миллиарда лет. Обнаружены объекты, которые в будущем сформируют гигантскую центральную галактику скопления. Это важное подтверждение стандартного сценария эволюции Вселенной.

► что ее скорость периодически изменяется на очень небольшую величину — метры в секунду! Сильнее всего «раскачивает» Солнце Юпитер — он самый тяжелый в нашей планетной системе.

Измеряя скорости других звезд, можно заметить периодические вариации, связанные с влиянием планет. Так определяют массу планеты и орбитальный период. Чем тяжелее планета и чем быстрее она совершает оборот вокруг своей звезды, тем проще ее открыть. Этим способом планеты обнаруживают с помощью наземных инструментов, одним из самых совершенных среди которых сейчас является прибор HARPS в Европейской южной обсерватории.

За год разными группами, использующими различные методики, было открыто более сотни экзопланет. Однако лишь несколько из них вызывают особый интерес.

Первым из наиболее ярких открытий было обнаружено исследование системы Kepler 11. У звезды типа Солнца вращается шесть планет. Все они транзитные. Пять имеют орбитальные периоды от 10 до 47 дней. Самые близкие к звезде планеты относятся к числу самых легких из известных, но оценки диаметра указывают на низкую среднюю плотность. То есть у планеты есть оболочка из легких газов.

Одним из наиболее интересных результатов, полученных с помощью спутника CoRoT в 2011 году, стало обнаружение массивной планеты высокой плотности. При массе свыше четырех юпитерианских она имеет диаметр, на 15% меньше, чем у Юпитера. Это соответствует плотности выше 8 г/см^3 . Появление таких планет плохо укладывается в стандартные сценарии. Теоретикам еще придется поломать голову над этой загадкой.

Около половины звезд нашей Галактики — двойные. Могут ли существовать планеты в двойных системах? Да! Есть два варианта. Первый — планета крутится близко от звезды, а вторая звезда вращается на гораздо более широкой орбите. Второй — более интересный. В этом случае планета вращается сразу вокруг двух звезд. Таким образом, расстояние между звездами намного меньше размера орбиты планеты. Именно это было обнаружено в системе Kepler-16. Планета по размерам похожа на Сатурн и совершает оборот вокруг двойной звезды примерно за 230 дней.

В конце декабря команда спутника Kepler заявила о важном рекордном открытии. Исследование планетной системы Kepler 20 показало, что две из пяти планет имеют размеры около 1 и 0,9 земного диаметра. Это самые

ИСТОРИЯ ОТКРЫТИЯ ПЛАНЕТ



На вопрос о том, кто и когда открыл первую экзопланету, можно получить три или даже четыре разных ответа. Дело в том, что обнаружение планет у других звезд — очень трудная задача.

Первые планеты обнаруживали, измеряя периодические изменения скоростей объектов, вокруг которых они вращаются. Есть уникальные источники, для которых можно получать очень точные измерения таких вариаций. Это радиопульсары. В 1992 году Александр Вольщан (Aleksander Wolszczan) и Дэйл Фрейл (Dale Frail) обнаружили две планеты у пульсара PSR 1257+12. Формально это первое надежное обнаружение экзопланет. Только вот звезда не обычная, а нейтронная.

Первое надежное открытие планеты у нормальной звезды принадлежит Мишелю Мейору (Michel Mayor) и Дидье Квелоцу (Didier Queloz). Звезда 51 Пегаса похожа на Солнце (чуть-чуть тяжелее, больше и горячее), а вот планета не похожа на наших соседей в Солнечной системе. Имея массу около половины массы Юпитера, она вращается очень близко от своей

звезды, совершая полный оборот вокруг нее за 4 дня. Сейчас известно множество подобных планет. Их называют «горячие юпитеры».

Однако за несколько лет до работы Мейора и Квелоца, в 1988 году, появилась статья Брюса Кэмпбелла (Bruce Campbell) и его коллег. В ней они описали возможное (но очень ненадежное на тот момент) обнаружение планеты с большим (около 900 дней) орбитальным периодом у яркой звезды гамма Цефея. После 15 лет сомнений только в 2003 году удалось достоверно показать, что планета действительно существует.

Наконец, остается неясной ситуация с объектом HD114762b. Он был обнаружен в 1989 году Дэвидом Лэтэмом (David Latham) и его коллегами. Скорее всего, масса HD114762b слишком велика для планеты, и мы имеем дело с бурой или даже красным карликом. Но есть небольшая вероятность, что масса мала — чуть более 10 масс Юпитера. Тогда это экзопланета, и более того — первая надежно открытая экзопланета!

*Так хочется
открыть
планету
в зоне
обитаемости!*

компактные из известных экзопланет. Правда, они находятся близко от своей звезды, поэтому о подходящих условиях для жизни на их поверхности речь не идет.

Но так хочется открыть планету в обитаемой зоне! Первый интересный результат в этом направлении был получен в 2011 году командой HARPS. На самой границе зоны обитаемости вокруг звезды HD 85812 была обнаружена планета. Так как высокоточный спектрограф HARPS открывает планеты, отслеживая изменения скоростей звезд, то оценивается масса экзопланеты, а не ее диаметр. Новая планета примерно в четыре раза тяжелее Земли. Вполне вероятно, что это каменная планета.

Наконец, многие сочтут, что самый интересный астрономический результат 2011 года — это открытие планеты Kepler 22b. Она обнаружена у звезды типа Солнца, причем орбита планеты как раз попадает в зону обитаемости. Диаметр планеты оценивается в 2,4 земного. Про массу пока мало что известно, поэтому говорить о том, что это каменная планета, рано. Тем не менее это первая надежная планета в зоне обитаемости у солнцеподобной звезды, и это явно не Юпитер. ■

Сергей Попов — доктор физ.-мат. наук, старший научный сотрудник Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга

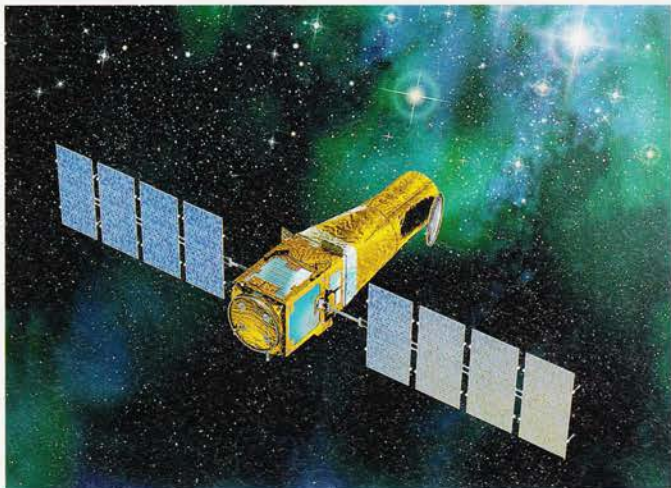
Спутник Kepler

Этот спутник, названный в честь Иоганна Кеплера, представляет собой первую специализированную космическую миссию для поиска экзопланет. Ключевая задача проекта — обнаружение планет земной массы в так называемых зонах обитаемости, то есть на таком расстоянии от звезды, где на поверхности планеты потенциально может существовать жидкая вода (не слишком жарко, и не слишком холодно). Обнаружение планет основано на наблюдении транзитов.

Аппарат был запущен в 2009 году. Надежно открыто уже несколько десятков экзопланет. Кроме того, опубликован список из более чем тысячи кандидатов, которые сейчас подробно исследуются с помощью других инструментов, включая крупнейшие наземные телескопы.



Спутник CoRoT



CoRoT означает COnvection ROtation and planetary Transits (конвекция, вращение и транзиты планет). Это спутник ESA, запущенный с космодрома Байконур 27 декабря 2006 года. Первоначально планировалось, что основной задачей будет изучение «звездотрясений». Но после обнаружения первых экзопланет стало ясно, что прибор сможет внести большой вклад в открытие новых миров. Соответственно, была расширена программа наблюдений.

Спутник может открывать транзитные планеты. К настоящему времени обнаружено более двух десятков экзопланет, некоторые из них представляют большой интерес. Кроме того, есть несколько сотен кандидатов, изучение которых продолжается.

Инструмент HARPS

HARPS — это аббревиатура: High Accuracy Radial velocity Planet Searcher. Прибор является спектрографом, установленным на телескопе с диаметром зеркала 3,6 м в Европейской южной обсерватории в Чили. С его помощью можно проводить очень точные измерения скоростей звезд, чтобы обнаруживать влияние даже небольших планет с массами, примерно равными земной.

