

Охота за планетами

Кандидат
физико-математических
наук

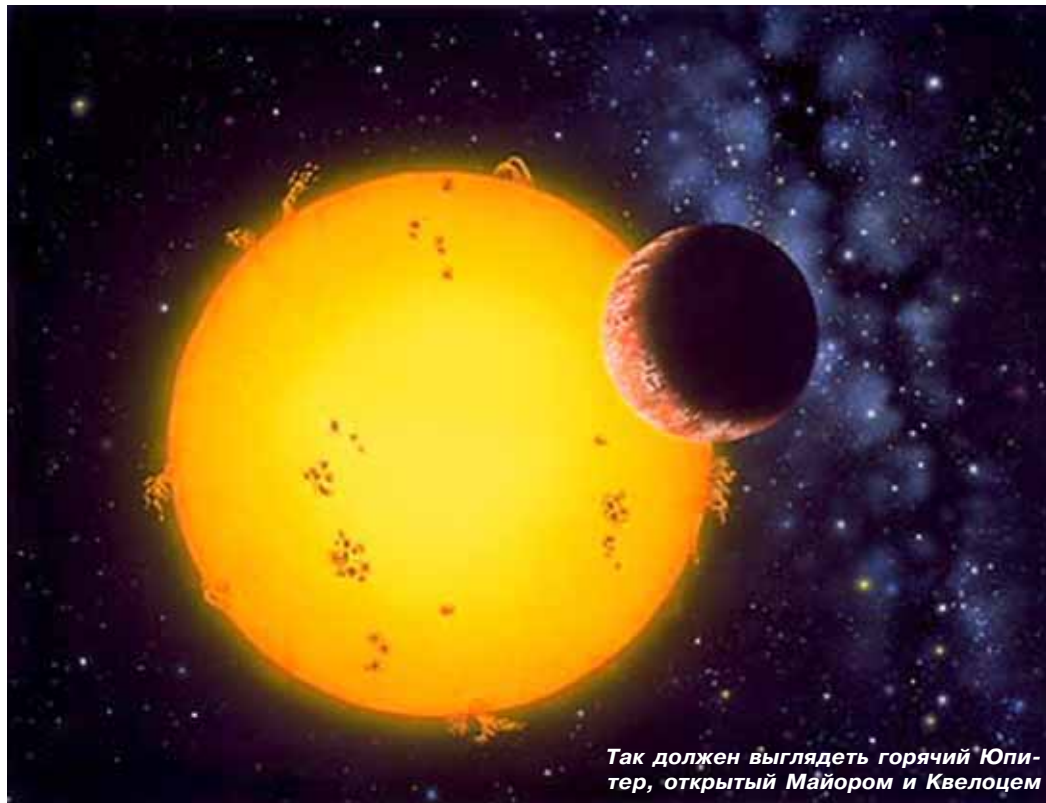
С.М.Комаров

В первой половине этого года астрономы добились очередных успехов: они нашли несколько планетных систем, слегка похожих на Солнечную систему. «Более трети звезд типа Солнца должны содержать или сверх-Землю, или аналог Нептуна с периодом обращения менее 50 дней», — считает главный охотник за планетами Михель Майор.

Поиск планет

Серьезные попытки обнаружить планеты у других звезд впервые были сделаны в конце XX века. Так, американский астроном Петер ван де Кампф предположил в 1982 году, что небольшие смещения звезды Барнарда вызваны влиянием вращающейся вокруг нее планеты. Впрочем, другие астрономы с его мнением не согласились. В середине 80-х годов профессор А.В.Тутуков из Института астрономии АН СССР предложил метод транзита (изменение яркости звезды при прохождении планеты между ее диском и Землей), а на основании наблюдения двойных систем высказал предположение, что планеты должны быть у каждой третьей звезды. В 1991—1992 годах польский астроном Александр Вольсцан и его канадский коллега Дейл Фрейл связали слабые изменения периода пульсара — быстро вращающейся нейтронной звезды — с движением планет вокруг нее. Хотя и считается, что планета не может пережить взрыв сверхновой — а именно после него получаются нейтронные звезды, — у пульсара оказалась целая планетная система из двух планет с массой в несколько раз больше земной и одной с массой Луны. Правда, больше ни у одного пульсара планетных систем обнаружить не удалось.

Начало массовой охоты за внесолнечными планетами связано с именами Михеля Майора и Дидье Квелоца из Женевской обсерватории, которые 6 октября 1995 года объявили о находке планеты у звезды 51 созвездия Пегаса. Эта планета стала двойным открытием: она вращается столь близко от своей звезды, что год длится всего 4,2 земных дня, а температура поверхности превосходит тысячу градусов Цельсия. Поскольку масса оказалась всего наполовину меньше, чем у Юпитера, планеты такого типа стали называть «горячими Юпитерами».



Так должен выглядеть горячий Юпитер, открытый Майором и Квелоцем

После открытия Майора и Квелоца поток сообщений о новых планетах за пределами Солнечной системы превратился в набирающую скорость лавину. Сейчас их число превышает 270, и задача астрономов несколько изменилась. Теперь недостаточно открыть новую планету: хочется выяснить, нет ли поблизости других планет, желательно земного типа. В самых смелых мечтах — не просто найти такие планеты, но и посмотреть, нет ли в их атмосферах каких-то признаков жизни. Пока что доказано, что планетные системы существуют у 25 звезд, причем в состав некоторых из них входят планеты, лишь в несколько раз более тяжелые, чем Земля.

Вселенная горячих Юпитеров

Довольно быстро выяснилось, что именно системы с горячими Юпитерами — это норма, а Солнечная система — исключение. Так, более чем в двух третях случаев радиус орбиты горячего Юпитера меньше радиуса орбиты Земли, и нет ни одной системы, где бы подобная Юпитеру планета оказалась на столь большом расстоянии от светила, как наш Юпитер: все они укладываются в пределы нашего пояса астероидов. Поскольку планеты находят у звезд того же типа, что и Солнце, а у некоторых из них удалось разглядеть протопланетные облака, в которых зародыши планет образуются на вполне приличном расстоянии от звезды, возникло мнение, что горячие Юпитеры медленно сваливаются на свои звезды. Это мнение позволяет объяснить, в частности, повышенное в тысячи раз (по сравнению с данными теории происхождения химических элементов) содержание лития-6 в атмосфере звезды HD82943.



Когда земляне долетят до звезды HD69830, они увидят три «Нептуна» и пояс астероидов



«Юпитер» и «Сатурн» у звезды OGLE-2006-BLG-109L. Вдалеке видна звезда, свет которой усилен гравитационной линзой

Как бы то ни было, пока что найдены всего две системы, мало-мальски похожие на Солнечную. Первую из них обнаружили у звезды OGLE-2006-BLG-109L. Эта звезда в два раза меньше Солнца, и у нее есть прямые аналоги Юпитера и Сатурна – две большие планеты с аналогичными соотношениями масс (около 3:1), радиусов орбиты (1:2) и периодов вращения (5 и 14 лет против 12 и 30). Хотя и этот «Юпитер» лежит очень близко к своей звезде, в пределах орбиты Венеры.

Хроника открытия этой системы дает представление о том, как работают охотники за планетами. 26 марта 2006 года польско-американская группа OGLE (Оптический эксперимент по гравитационным линзам) во главе с профессором Анджеем Удальским из Варшавского университета сообщила о том, что она заметила гравитационную линзу, которую занесли в каталог под именем OGLE-2006-BLG-109. В международном разделении астрономического труда эта группа как раз и занимается обнаружением гравитацион-

ных линз. Когда свет далекой звезды проходит рядом с массивным объектом, его путь искажается вследствие искривления пространства-времени так, как искривляется свет в оптической линзе. В результате звезда как будто приближается к наблюдателю: ее свет неожиданно усиливается. Явление длится около месяца, после чего из-за перемещения Солнечной системы телескоп перестает принимать те лучи, что прошли сквозь линзу. В качестве линзы может выступать и слабая звезда, свет которой астроному не заметен. Именно тогда в конце ее названия появляется буква «L». Столь же невидимые планеты, обращающиеся вокруг звезды, усиливают эффект линзы.

О таком усилении эффекта у объекта OGLE-2006-BLG-109L польские астрономы и сообщили через два дня после обнаружения линзы, и охотники за планетами из других обсерваторий приступили к тщательным наблюдениям. В частности, этим занялись участники проекта «RoboNet», о котором будет рассказано позже. Спустя восемь дней, 5 апреля, набралось достаточно информации, чтобы провести расчет. Астрономы из Огайского университета провели его за дюжину часов и показали, что эффект вызывает планета типа Юпитера. Расчет также показал, что следующего роста яркости следует ожидать 8 апреля. Однако, к удивлению астрономов, это случилось буквально на следующий день, 6 апреля. Так усилить яркость линзы могла только более массивная планета, расположенная ближе к создавшей линзу звезде. А 8 апреля, как было предсказано, проявился пик яркости, вызванный обнаруженной ранее планетой, масса которой оказалась ближе к Сатурну, нежели к Юпитеру. Не прошло и двух лет, как статья с описанием этой истории была опубликована в журнале «Сайенс». Поскольку орбита внутренней планеты-гиганта относительно далека от звезды астрономы надеются, что в системе OGLE-2006-BLG-109L есть и малые каменные планеты, возможно, холодные. Жаль, что эту звезду в телескоп не видно и такое предположение невозможно пока проверить.

Другую планетную систему, немного похожую на Солнечную, ученые из Южной европейской обсерватории обнаружили в 2006 году у звезды HD69830. В ней три относительно легкие планеты, с массой, равной 10–18 массам Земли, то есть подобные Нептуну. Сходство с нашей этой системе придает пояс астероидов, который сумели разглядеть астрономы, работающие на Спитцеровском орбитальном телескопе, а также то обстоятельство, что самая внешняя планета, отделенная этим поясом от соседей и с периодом обращения 197 дней, почти попадает в «пояс жизни» — область существования жидкой воды. У другой свеженайденной системы из трех планет, за которой астрономы во главе с Майором внимательно следили в течение пяти лет, отличия от нашей значительно больше: хоть эти три планеты и ближе к Земле — их массы составляют 4,2, 6,7 и 9,4 масс Земли, периоды обращения очень малы — 4,3, 9,6 и 20,4 дней. Еще две интересные системы содержат по две планеты: одна — «Земля» с

массой 7,5 земных и периодом 9,5 дней и «Юпитер» с периодом 3 года; другая — «Нептун» (22 массы Земли) с периодом 4 дня и «Сатурн» с периодом 3 года.

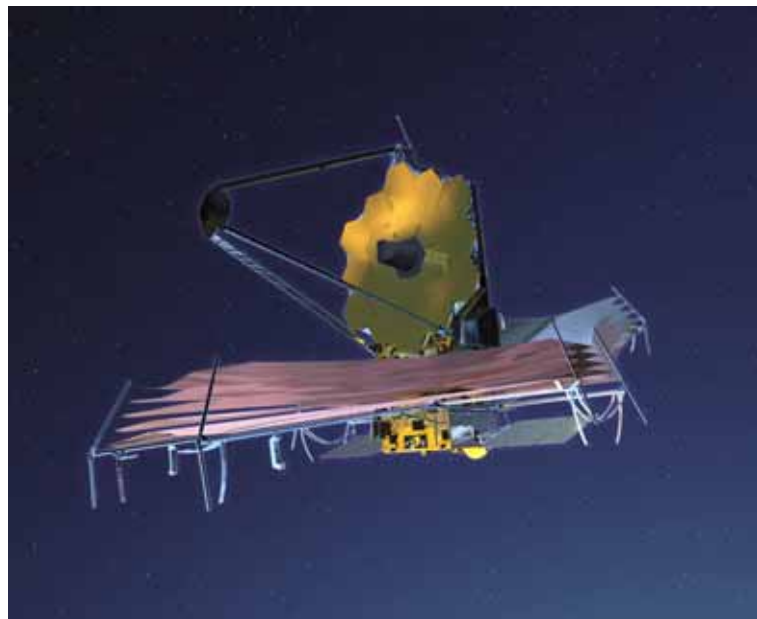
Другие методы

Поиск планет по создаваемому ими эффекту усиления гравитационных линз — не самый распространенный в арсенале охотников за планетами. Но у него есть преимущество — возможность обнаружения планеты даже у очень далеких звезд. А чаще всего новые планеты находят по смещению спектральных линий. Именно так нашли первый горячий Юпитер. Суть способа в том, что под влиянием планеты звезда смещается из центра системы и из-за эффекта Доплера линии излучения периодически смещаются то в синюю, то в красную сторону. Современные спектрометры позволяют без особых проблем поймать смещение со скоростью 3 м/с. Много это или мало? Например, Юпитер смещает Солнце со скоростью 12 м/с, а Земля — 0,1 м/с. Значит, метод вполне пригоден для поиска планет, схожих с Юпитером или даже Нептуном.

Следующий по распространенности метод — метод транзита. Воспользоваться им удастся не всегда, а только в том случае, когда мы видим эту планетную систему сбоку. Но уж если планета время от времени проходит по звездному диску, то у астрономов появляется чрезвычайно интересная возможность заняться химией экзопланетной атмосферы: содержащиеся в ней газы будут ослаблять или усиливать свет звезды в соответствующих спектральных линиях. Именно так орбитальный телескоп Хаббла обнаружил весной 2007 года органику в атмосфере горячего Юпитера, обращающегося вокруг звезды HD189733. У этой системы самый большой эффект транзита — каждые два дня яркость звезды падает на 3%. Как оказалось, атмосфера планеты содержит много водяного пара и метана, причем последнего гораздо больше, чем дают модели, построенные планетологами для горячих Юпитеров. Возможно, таким способом удастся изучать химию атмосферы и более холодных планет земного типа, когда они будут обнаружены.

Развитие этого метода может помочь и поиску землеподобных планет по тем незначительным изменениям, которые они вносят в движение горячего Юпитера, изменяя его период. Камеру для точного определения периодов

Один из роботов-телескопов сети «RoboNet».
Эффективный диаметр зеркала два метра получается в результате сложения данных, полученных восемью маленькими телескопами



Орбитальный телескоп им. Джеймса Уэбба

движения горячих Юпитеров астрономы Королевского университета Белфаста установили на Ливерпульском телескопе, расположенном на канарском острове Ла-Пальма.

Роботы-астрономы

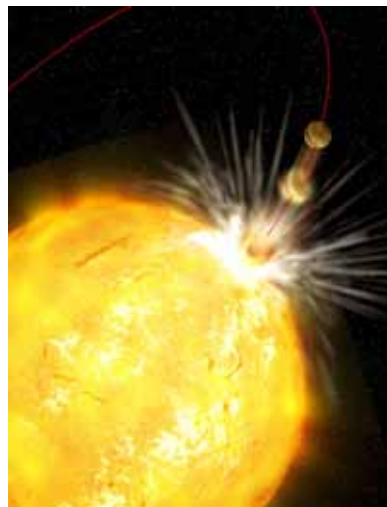
В мире сейчас переходят от поиска внесолнечных планет «вручную» к автоматизированным методам. Например, в 2004 году появилась сеть «RoboNet», которая связала три робота-телескопа с двухметровыми зеркалами — на Ла-Пальме, на гавайском острове Мауи и в австралийской обсерватории Сайдинг Спринг. Они в автоматическом режиме ищут аномалии в поведении гравитационных линз. Например, за сезон 2005 года роботы сети внимательно следили за 60 линзами и возле одной обнаружили новую планету. Другая программа предложена учеными из Великобритании в 2004 году и называется «SuperWASP» (Поиск планет в больших участках неба). Два робота-телескопа, один на Канарах, а другой в Южной Африке, каждую ночь автоматически анализируют изображения миллионов звезд и ищут признаки транзитов планет. Если такое событие будет обнаружено, то астрономы, работающие во французской Обсерватории Верхнего Прованса, на Северном оптическом телескопе на Ла-Пальме или Швейцарском телескопе Эйлера в Чили, проведут тщательные измерения и выяснят, действительно ли наблюдаемый эффект связан с транзитом. Всего за четыре года система дала пятнадцать планет из сорока пяти, открытых методом транзита, причем десять из них было обнаружено за последние полгода.

Что же касается отечественных исследователей, то задача поиска планет за пределами Солнечной системы у них не очень популярна. Одна из проблем состоит в том, что с середины девяностых годов мировая астрономия пережила настоящую революцию в техническом обеспечении. Это оснащение телескопов и ПЗС-матрицами (см. «Химию и жизнь», 2004, № 10), и высокочувствительными спектрометрами, способными определять совсем небольшие скорости смещения звезд — рекорд составляет 60 см/с. Впрочем, на нашем единственном роботе-телескопе «MASTER», созданном учеными из МГУ им. М.В.Ломоносова (см. «Химию и жизнь», 2006, № 1), в этом году начались работы по поиску планет. Университетские астрономы про-



Интерферометр «Дарвин» будет состоять из нескольких орбитальных телескопов и ретранслятора

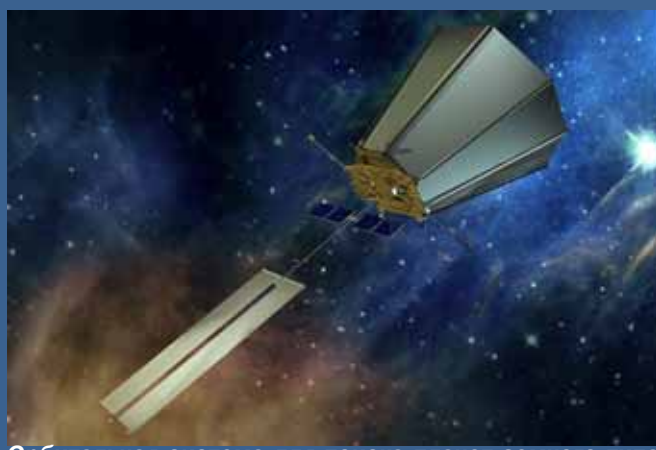
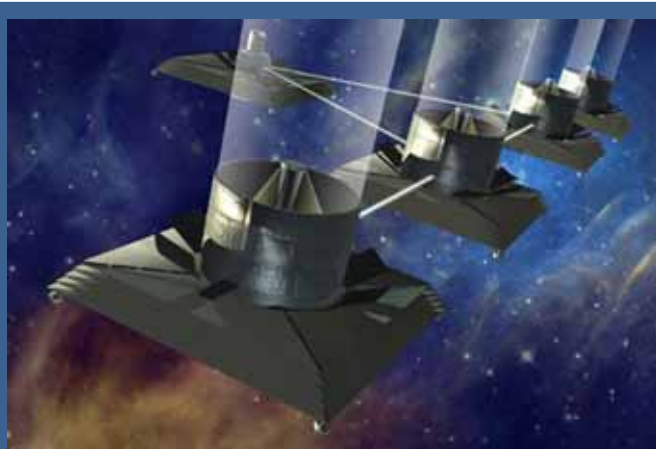
Примерно так горячий Юпитер падает в породившую его звезду



Рисунки — ESO, ESA, NASA



НАУЧНЫЙ КОММЕНТАТОР



Орбитальная система для поиска планет земного типа, о которой мечтают астрономы, будет состоять из двух частей

ском университете. А наша мечта — разместить 24 телескопа по всей стране и в результате получать обзор всего северного неба за одну ночь. Сравнивая изображения, получаемые ночь от ночи, мы сможем видеть все новые объекты, которые появились на небе, — сверхновые, гамма-всплески, ну и конечно же следы транзита планет. Телескопы стоят недорого, программисты обходятся гораздо дороже, поэтому нигде в мире такой системы не создано. А у нас энтузиасты уже разработали все программное обеспечение, дело только в закупке телескопов. Проект в целом обойдется недорого, всего в пять миллионов долларов, и мы сейчас ищем средства», — рассказывает руководитель проекта доктор физико-математических наук В.М.Липунов.

А во всем мире астрономы готовятся искать планеты космическими телескопами. Сейчас этим заняты канадский MOST (он выведен на орбиту в 2003 году) и французский COROT (запущен в декабре 2006 года, а свой первый горячий Юпитер нашел в мае 2007-го). В феврале 2009 года к ним присоединится американский «Кеплер», специально предназначенный для поиска планет, аналогичных Земле. В 2013 году американцы выведут на орбиту космический телескоп им. Джеймса Уэбба с зеркалом 6,5 м, который окажется на расстоянии 1,5 млн. км от Земли и будет проводить наблюдения главным образом в инфракрасной области спектра. После 2014 года ЕКА должно запустить инфракрасный интерферометр «Дарвин», способный, в частности, найти воду, углекислый газ и озон в атмосфере дальней планеты. В 2015 году НАСА планирует запуск «SIM Planet Quest». Этот орбитальный телескоп будет объединен с каким-нибудь другим телескопом, и получится гигантский интерферометр, который сможет определять положение звезд и расстояние до них в тысячу раз точнее, чем это возможно ныне. А затем придет и время для «Terrestrial Planet Finder» (то есть Искателя планет земного типа). Он будет состоять из двух связанных обсерваторий, работающих в видимом и инфракрасном диапазонах. Эти обсерватории смогут определять размер, расположение и температурные следы жизнедеятельности в их атмосферах — озон, углекислый газ, водяной пар и метан. В общем, есть все шансы выяснить в обозримый срок, насколько мы одиноки во Вселенной.

вели наблюдения одной из известных планет, совершающих транзит, — это необходимо для отработки методов расчета — и получили неплохую кривую изменения блеска. «На телескопе в Москве трудно искать планеты — слишком плохие условия наблюдения. Однако мы получили финансирование на установку разработанных нами телескопов с диаметром зеркала 40 см на базе МГУ в Кисловодске. Подобный телескоп-робот поставят и в Екатеринбург-

