





Ли Биллингс

Поиск жизни на далеких лунах

Спутники, обращающиеся вокруг планет, расположенных за пределами Солнечной системы, вероятно, составляют большую часть обитаемых островов в нашей Галактике — если только нам удастся их найти

ОБ АВТОРЕ

Ли Биллингс (Lee Billings) — журналист и писатель, живущий в Нью-Йорке. Его первая книга «Пять миллиардов лет одиночества» (*Five Billion Years of Solitude*) — это хроника научного поиска подобных Земле планет в разных уголках Вселенной.



Сегодня нам известно более чем о тысяче планет, обращающихся вокруг далеких звезд. По всей вероятности, еще более 100 млрд планет могут называть Млечный Путь своим домом. Многие из известных экзопланет представляют собой газовые гиганты вроде Юпитера или Нептуна — враждебные для жизни места. Но подобно этим гигантам нашей Солнечной системы далекие экзопланеты, возможно, также окружены крупными спутниками. И если они действительно обладают таковыми, то, вероятно, именно спутники, а не планеты — основной приют жизни во Вселенной.

Передовой край поисков спутников экзопланет — экзоспутников — скрывается глубоко в подвалах Гарвард-Смитсоновского астрофизического центра в мрачной комнате, заставленной компьютерами и опутанной сетью проводов. Повышая голос, чтобы перекрыть шум охлаждающих вентиляторов, британский астроном Дэвид Киппинг (David Kipping) замечает, что практически вся компьютерная мощь в данный момент направлена на анализ единственной планеты, *Kepler-22b*, которая обращается вокруг солнцеподобной звезды, расположенной примерно в 600 световых годах от Земли. Эта удаленная планета получила свое название в честь космического охотника за планетами, телескопа «Кеплер» (NASA), который впервые ее заметил. Киппинг надеется, что при тщательном анализе данных, позволивших обнаружить *Kepler-22b*, можно также найти и едва различимые сигналы ее спутников. Он назвал свой проект «Охота за экзоспутниками с помощью "Кеплера"» (*Hunt for Exomoons with Kepler, HEK*).

На сегодня проект Киппинга — самая продвинутая попытка зарегистрировать спутник экзопланеты. Огромная вычислительная мощь просто необходима, рассказывает астроном, поскольку даже самый большой экзоспутник оставит ничтожный сигнал в данных. Поэтому он напряженно ищет признаки экзоспутников лишь

у нескольких тщательно выбранных целей. Возможно, он не обнаружит столько спутников, сколько нашел бы при быстром поиске среди большого числа объектов, но, как сам он говорит: «Я не уверен, что у меня не останется сомнений в результатах такой работы. Наша цель — тщательное, честное, надежное обнаружение, с которым согласится даже самый строгий критик».

У Киппинга есть все основания быть осмотрительным. Любое заявление об открытии спутника экзопланеты будет подвергнуто сомнению не только потому, что работа сложна, но и в силу того, что находка потенциально будет иметь далеко идущие последствия. Хотя бы потому, объясняет исследователь, что *Kepler-22b* находится в «зоне жизни» звезды, в области, где вода может быть в жидком состоянии. Планета настолько огромна, что, скорее всего, это малоприспособленное для жизни, покрытое газовой оболочкой небесное тело, нежели похожая на Землю планета с твердой поверхностью. Но если *Kepler-22b* обладает массивным спутником, то эта «луна» — вероятно, вполне пригодное место для существования жизни и может стать возможной целью для будущих астрономических поисков внеземных жизни и разума.

«Спутники могут быть обитаемы, — продолжает Киппинг. — И если это действительно так, то открывается множество возможностей для поиска жизни там, где ранее ее никто не мог предположить».

Рождение спутников

Многие астрономы (наряду с писателями-фантастами) уже давно предполагали, что другие планетные системы будут зеркальным отражением нашей, с большим количеством покрытых льдом спутников, которые летают по орбитам вокруг холодных и гигантских планет, — подобно тому, что мы наблюдаем у Юпитера и Сатурна. Тем не менее после первых же открытий экзопланет в 1990-е гг. наши представления о них расширились: охотники за планетами стали находить газовые гиганты, сформировавшиеся далеко от светила, а затем каким-то образом мигрировавшие на более близкие к звезде орбиты, туда, где намного теплее. Некоторые даже оккупировали зоны жизни своих звезд. Не исключено, что часть спутников тех горячих планет-гигантов имеют твердую скалистую поверхность, защитную атмосферную оболочку и океаны, подобные земным.

Трое ученых из Университета штата Пенсильвания, Даррен Уильямс (Darren Williams), Джим Кастинг (Jim Kasting) и Ричард Уэйд (Richard Wade), первыми занялись детальным изучением вопроса, какова вероятность того,

! ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Астрономы ищут спутники с каменной поверхностью, которые, возможно, обращаются вокруг далеких экзопланет.
- Такие экзоспутники могут быть заповедниками жизни — при условии, что они достаточно крупны, чтобы удерживать атмосферу.
- Эти «луны» можно искать, используя имеющиеся базы данных, но их присутствие дает столь слабый эффект, что требуются мощные компьютеры, чтобы его обнаружить.

что экзоспутник имеет условия для жизни, подобные земным. В своей статье, опубликованной в 1997 г. в журнале *Nature*, они исследуют, насколько большим должен быть спутник, расположенный в зоне жизни, чтобы он смог удержать достаточно плотную атмосферу и воду в жидком состоянии на своей поверхности. «Мы пришли к выводу, что спутники, уступающие размером Марсу, имеющему массу примерно в десять раз меньшую земной, не могут удерживать атмосферу на протяжении более чем нескольких миллионов лет», — говорит Уильямс. Ниже этого порога спутник не в состоянии обеспечить притяжение, достаточное, чтобы удержать атмосферу. У подобной луны-малышки атмосфера испарится под действием излучения со стороны ближайшей звезды.

Проблема еще и в том, что спутнику, сопоставимому по размерам с планетой земной группы, не так-то просто сформироваться. Астрономы считают, что большинство спутников образуются так же, как и планеты, — постепенно набирая массу из вращающегося диска, состоящего из газа, льда и пыли. Результаты моделирования процессов формирования спутника из газовой-пылевой облака в большинстве случаев не дают чего-либо значительно большего, чем спутник Юпитера — Ганимед, самая большая «луна», которую удалось сотворить нашей Солнечной системе. А согласно исследованиям 1997 г., спутник должен быть в четыре-пять раз больше Ганимеда, чтобы постоянно удерживать атмосферу.

К счастью, природа изобрела и другие возможности появления массивных спутников. Например, наша Луна слишком велика для того, чтобы образоваться одновременно с Землей в результате постепенного сгущения общего газовой-пылевой диска. Многие астрономы считают, что система «Земля — Луна» появилась в результате космической катастрофы — столкновения, произошедшего в Солнечной системе на заре ее существования. Полагают, что и Плутон со своим крупнейшим спутником Хароном также составляют парочку, возникшую в результате другого, намного меньшего по масштабу столкновения. Эти пары могли бы объяснить появление спутников другого типа. В процессе так называемого обмена в двойной системе гигантская планета, повстречавшись с парой небольших планет, захватывает одну из них в качестве спутника, тогда как вторая устремляется прочь. По крайней мере однажды такой обмен уже произошел в Солнечной системе: крупнейший спутник Нептуна Тритон летает по странной орбите, двигаясь в направлении, противоположном направлению вращения планеты-гиганта. Астрономы полагают, что Тритон — остаток двойной планетной системы, захваченный Нептуном.

На больших спутниках теоретически может быть вода в жидком состоянии, а значит и жизнь, даже если они обращаются вокруг планеты, расположенной вне зоны жизни звезды. Дополнительными источниками тепла могут служить свет, отраженный планетой-хозяйкой, ее собственное тепловое излучение, а также ее гравитационное поле. Подобно Луне, вызывающей приливы в земных океанах, газовый гигант своим тяготением

деформирует находящийся поблизости спутник, передавая ему приливную энергию, которая в конце концов в результате трения превращается в тепло. Этот эффект сродни нагреву металлической скрепки при ее многократном сгибании. Согласно результатам последней работы Рене Геллера (Rene Heller) из Университета Макмастера и Рори Барнса (Rory Barnes) из Вашингтонского университета, если орбита спутника лежит слишком близко к газовому гиганту, это может вызвать настолько сильный приливной разогрев, что атмосфера спутника полностью выкипит или даже сам он расплавится и превратится в шар из губчатой лавы. На более удаленных орбитах как раз достаточное количество тепла, вызванного приливным разогревом, и оно может создать на спутнике условия, вполне благоприятные для жизни, даже несмотря на значительную удаленность от согревающих лучей светила.

К тому же приливные силы могут изменить движение самого спутника настолько, что он всегда будет обращен к своей планете одним и тем же полушарием, подобно нашей Луне. «Представьте себе ночное небо такого синхронно вращающегося спутника, — говорит Геллер, рисуя нам необычную картину. — Вообразите, что вы находитесь на таком приливно захваченном спутнике, на том его полушарии, которое вечно обращено к планете. На вашем небосводе планета будет огромной и неподвижной. В "лунный полдень", соответствующий наивысшему положению звезды над горизонтом, та останется "за спиной" планеты и до вас не дойдет отраженный планетой свет. Вы увидите звезды, усеявшие все небо, за исключением черного диска прямо над головой. В "полночь", когда спутник на орбите расположен так, что звезда находится у вас "под ногами", освещенная часть поверхности планеты из полумесяца трансформировалась бы в полный круг и весь отраженный ею свет был бы направлен на вас. Так что в полночь ваше небо было бы освещено гораздо ярче, чем днем».

Стратегия поисков

Теоретически достаточно крупные, способные удержать атмосферу спутники должны оставлять заметный след в данных, переданных «Кеплером». Начиная с запуска в 2009 г. и до возникновения проблем с гироскопом, вынудивших завершить исследования в прошлом году, «Кеплер» неустанно наблюдал за определенным участком неба, постоянно отслеживая яркость более чем 150 тыс. звезд. Он искал планеты, фиксируя их прохождения — так называемые «транзиты» — перед дисками своих светил: при пересечении планетой звездного диска она отбрасывает тень в нашу сторону. Каждое прохождение оставляет четко различимый, периодически повторяющийся провал в «кривой блеска» звезды, т.е. на графике изменения ее яркости со временем.

Самая мелкая из до сих пор обнаруженных «Кеплером» планет, *Kepler-37b*, очень мала — чуть больше нашей Луны. По мнению Киппинга, если «Кеплер» смог обнаружить планету размером со спутник, то сможет обнаружить и спутник размером с планету.

КАК СДЕЛАТЬ СПУТНИК

Ученые не ожидают, что подобная Юпитеру газовая планета может служить прибежищем жизни, но если у такой планеты есть крупный спутник, он-то как раз и может. Однако чтобы обеспечить условия для жизни, спутник должен быть настолько массивным, чтобы его гравитация могла удержать тонкий слой атмосферы. Разные механизмы формирования спутников могут привести к огромному различию в их размерах.

Агрегация из диска

Пример: спутники Юпитера

Считается, что планеты сформировались в околозвездном диске из пыли, газа и льдинок. Вокруг молодых планет могли образоваться свои диски, подобные вихрям в текущей воде (1). За миллионы лет вещество этих вторичных дисков сжалось в кольца и спутники (2, 3). Но так может родиться лишь спутник, не превосходящий размером Ганимед, спутник Юпитера — слишком маленький, чтобы удержать атмосферу.



Столкновение тяжеловесов

Пример: Луна

Астрономы полагают, что вскоре после рождения Земли она столкнулась с телом размером с Марс (1). При этом в космос было выброшено много скальных пород и железа (2), которые затем остыли и образовали Луну (3). Теоретически при таком столкновении могут образоваться два небесных тела примерно равного размера. В этом сценарии двойной планеты «спутник» будет размером с «планету».



Захват из двойной

Пример: спутник Нептуна Тритон

Система из двух планет (возможно, сформировавшаяся в результате столкновения) может встретиться с большей по размеру планетой (1). Когда пара пролетает мимо (2), большая планета может захватить одного из членов пары, а второго вытолкнуть вдаль (3). Захваченные спутники, отвоєванные у двойной планеты, также могут быть довольно большими.



Несмотря на то что Киппинг просеивает данные, полученные «Кеплером», сам он не числится членом научной группы «Кеплера» и его проект никак не связан с этой программой NASA. Фактически каждый может заниматься тем, что делает Киппинг: данные, полученные «Кеплером», находятся в свободном доступе. Астрономы-профессионалы, равно как и любители, уже открыли новые планеты, перелопачивая огромный объем этих данных. Подход Киппинга, при котором каждый может внести свою лепту, пригодился и для сбора финансовых средств — он собрал \$12 тыс. на сайте, созданным специально для этой цели, чтобы купить процессоры, которые стали частью Вычислительного центра им. Майкла Додда, названного так в честь самого щедрого мецената.

Стратегия поиска спутников Киппинга базируется на парадоксальной особенности гравитационного взаимодействия: в известном смысле не только спутники обращаются вокруг планет, но и планеты вокруг спутников, а точнее планета и спутник обращаются вокруг общего центра масс, хотя спутник быстро кружится вокруг планеты, а та лишь немного колеблется взад и вперед.

Представьте, что вы наблюдаете за удаленной системой «планета — спутник». Если спутник сместится вправо относительно планеты, то сама она, обращаясь вокруг того же центра масс, переместится немного влево. А теперь представьте себе, что система «планета — спутник» пересекает слева направо диск звезды. Планета будет располагаться левее того положения, где бы она находилась, не будь у нее компаньона. Этот сдвиг влево при движении планеты слева направо, возможно, на несколько минут задержит начало прохождения. При следующем прохождении этой же системы спутник, вероятно, будет располагаться на другой стороне своей орбиты, слегка смещая вправо точку, в которой находится планета, в результате чего прохождение начнется на несколько минут раньше.

Помимо смещения моментов начала прохождений обращающийся вокруг планеты спутник может изменять общую продолжительность прохождения. Отслеженный на многих орбитальных оборотах, этот «танец с переменным темпом», меняющий характер прохождений, служит искомой визитной карточкой экзоспутника.

Помимо этих временных эффектов достаточно большой спутник способен перекрыть путь лучам, идущим от звезды, добавляя свой собственный крайне малый вклад в эффект от проходящей перед диском светила планеты. Общий вклад системы «планета — спутник» в уменьшение блеска звезды немного отличается от эффекта одиночной планеты — за исключением случая, когда спутник находится строго перед или за планетой. В таком случае система «планета — спутник» перекроет больше света, чем сама планета. Астрономы могут воспользоваться этой разницей для того, чтобы сделать вывод о наличии спрятавшегося спутника.

И все же обнаружение любого из этих едва уловимых эффектов — необычайно трудная задача. Небольшое уменьшение яркости звезды может быть связано не только с прохождением экзоспутника, но и с более

прозаическими причинами. Каждое изменение на кривых блеска до сих пор лучше всего объяснялось такими простыми вещами, как солнечные пятна, флуктуации яркости звезды и погрешность приборов.

Еще хуже то, что одинаковые кривые блеска могут наблюдаться при весьма разных параметрах системы «планета — спутник», отличающихся друг от друга такими деталями, как размер спутника, период обращения и наклон его орбиты. Эта присущая задаче неопределенность делает крайне сложным поиск спутников на основе одних лишь временных характеристик.

Тем не менее если астрономам удастся на основе временных эффектов выявить конфигурацию орбит планеты и спутника, а также измерить прогиб кривой блеска, связанный со спутником, то они смогут установить массы спутника, планеты и звезды в этой системе. Связав полученные массы с оценкой размеров, рассчитанных по количеству света звезды, перекрытого планетой и спутником, астрономы могут определить плотность каждого небесного тела, приоткрыв этим путь к изучению состава, истории формирования и условий жизни на планетах и их спутниках. При тщательной обработке данных о многих прохождениях в каждой из таких систем, наблюдая флуктуации звездного излучения, можно прояснить даже более тонкие детали.

«Удивительно, как много информации может содержаться в кривой блеска, — размышляет вслух Киппинг, сидя в своем кабинете, расположенном несколькими этажами выше подземного вычислительного центра. — Что будет, если проходящая планета или спутник слегка приплюснуты или если у планеты есть кольца? Что будет, если атмосфера далекой планеты преломит или искривит лучи света, проходящие через нее? Подобные эффекты сразу будут заметны в данных. Невероятно приятно смотреть на звезды, эти мерцающие светлячки на ночном небе, и знать, что мы можем провести простое измерение яркости и выудить из него всю эту кипу информации».

В проекте Киппинга *НЕК* впервые указано на возможность выявлять спутники любой транзитной планеты. Как выглядела бы кривая блеска, если бы у планеты был спутник? С помощью алгоритма *НЕК* сгенерировано множество кривых блеска для различных гипотетических систем «планета — спутник» в широком диапазоне их масс, радиусов и орбит. Затем в поисках соответствия сквозь эту матрицу просеиваются данные, переданные «Кеплером», и шаг за шагом выделяются статистически вероятные признаки существования экзоспутника. Именно для этого трудоемкого метода проб и ошибок *НЕК* нуждается в мощных компьютерах. Это также объясняет, почему Киппинг предпочитает скрупулезно отбирать самые перспективные объекты из заснятого «Кеплером» колоссального числа экзопланет. Большинство из отобранных — это планеты сравнительно небольшой массы размером с Нептун, обращающиеся недалеко от звезды-хозяйки солнечного типа и совершающие оборот не более чем за шесть месяцев. Такие планеты подадут самый отчетливый сигнал о существовании спутника.

В рамках этого проекта планируется также изучение транзитных планет у красных карликов, которые заметно меньше, тусклее и многочисленнее, чем звезды солнечного типа. Их небольшой размер означает, что транзитные планеты и их спутники будут закрывать собой большую долю диска звезды, что сильнее скажется на изменении ее блеска. У сравнительно тусклой звезды зона жизни расположена ближе; поэтому любая планета с таким радиусом орбиты будет быстрее совершать полный оборот, давая астрономам возможность чаще фиксировать прохождения. «Работать с такими звездами нам гораздо удобнее, — поясняет Киппинг. — При удачных обстоятельствах мы, вероятно, сможем зафиксировать спутник массой в пять-десять раз меньше массы Земли».

Но даже при наихудшем исходе, если НЕК не удастся обнаружить ни одного экзоспутника, полученные данные позволят Киппингу и его коллегам по крайней мере установить верхнюю границу для числа планет, имеющих спутники большого размера. Уже сейчас можно сказать, что крупные спутники — большая редкость. «Например, если бы спутник радиусом вдвое больше Земли обращался вокруг транзитной планеты размером с Юпитер, то беглого взгляда на кривую блеска было бы достаточно, чтобы заметить эффект от его присутствия, — говорит Эрик Форд (Eric Ford) из Университета Флориды. — Поэтому с большой вероятностью можно сказать, что если бы подобный объект попал в поле зрения "Кеплера", то кто-нибудь его уже обнаружил бы или был бы в шаге от этого». Анализ, проведенный группой Киппинга, исключил возможность того, что *Kepler-22b* — один из первых объектов исследования — имеет спутник размером более половины размера Земли.

Другие астрономы, такие как Эрик Эгол (Eric Agol) из Университета Вашингтона, скептически относятся к тому, что собранные «Кеплером» данные позволят получить достоверные свидетельства существования экзоспутников, особенно если полагаться только на одни временные эффекты. «По моему мнению, для убедительного обнаружения потребуется непосредственное наблюдение прохождения спутника, — считает Эгол. — Но это находится на грани возможностей "Кеплера". Хотя, безусловно, природа всегда готова удивить нас».

Несмотря на все сомнения, Эгол признает, что он со своими коллегами также занят неофициальным поиском, который в сравнении с НЕК использует менее затратные компьютерные алгоритмы, чтобы просмотреть больше полученных «Кеплером» кривых блеска для поиска более явных эффектов. «На мой взгляд, нам следует в разумных пределах вести поиск у каждой из уже обнаруженных планет», — заключает Эгол.

Лунные линзы

Киппинг обращает внимание на то, что спутники увеличивают шансы встретить жизнь во Вселенной по целому ряду причин. Например, без Луны, говорит он, земной климат и времена года могли бы быть совершенно иными, т.к. Луна помогает нашей планете поддерживать стабильный наклон оси. Более того, в далеком прошлом,

когда Луна располагалась значительно ближе к Земле, ее мощное приливное влияние сыграло важную роль в зарождении и расцвете жизни.

«Когда мы найдем планету размером с Землю в зоне жизни, одним из первых вопросов будет: "А есть ли у нее спутник?"», — замечает Киппинг. Ответ на этот вопрос поможет определить, в действительности ли эта планета настоящий близнец нашей или всего лишь кузина с едва заметными фамильными чертами. «Интересно, неужели наша планета — счастливое исключение? Или же условия, подобные земным, вполне обычны? С выборкой из одного элемента мы не в состоянии дать определенный ответ. Если удастся найти нечто подобное за пределами Солнечной системы, мы получим об этом более четкое представление».

С появлением более зорких телескопов, чем «Кеплер», экзоспутники, вероятно, станут чем-то большим, чем просто маяками, отмечающими «отражения Земли» — близнецов нашей планеты, обращающихся вокруг соседних звезд. Наблюдая транзитную планету, подобную Земле, или транзитный спутник размером с Землю, с помощью достаточно большого телескопа на Земле или в космосе можно исследовать атмосферу этих далеких миров в поисках таких биомаркеров, как кислород, заполняющий атмосферу нашей планеты, говорит Киппинг.

Исследователь также полагает, что некоторые экзоспутники можно будет использовать для изучения характера поверхности их планеты-хозяйки. Астрономы уже используют транзитные планеты для изучения поверхности звезд, тщательно отслеживая яркость звезды во время прохождения планеты перед ее диском. «А когда спутник проходит перед обращенной к нам стороной планеты, вы используете ту же возможность, но теперь вы измеряете яркость поверхности планеты, — поясняет Киппинг. — Таким образом, в принципе, если воспользоваться совершенным телескопом будущего, можно начать наносить на карту континенты близнеца Земли, его моря и океаны, и все это только на основе того, как меняется яркость планеты при прохождении спутника над ее поверхностью. Иногда я думаю, что вероятнее всего именно так мы когда-нибудь получим нечто вроде фотографии одной из этих потенциально обитаемых планет. И это станет первым шагом в географии новых миров».

Перевод: С.А. Кузнецов

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- The Hunt for Exomoons with Kepler (HEK): I. Description of a New Observational Project. David M. Kipping et al. in *Astrophysical Journal*, Vol. 750, No. 2, pages 115–134; 2012. <http://arxiv.org/abs/1201.0752>
- Five Billion Years of Solitude: The Search for Life among the Stars. Lee Billings. Penguin Group, 2013.
- Проект НЕК: www.cfa.harvard.edu/HEK