

Республиканская конференция учащихся
Малые чтения НОУ «Сигма»
«Первые шаги в науку»
Секция: Астрономия

Экзопланеты

Работу выполнил: ученик 8 класса
МКОУ «СОШ №5 г.Баксана»
Кошиев Науруз

Руководитель: Фотов Р.Б.

2015

Оглавление

| | |
|--|----|
| Введение | 4 |
| Классификация планет..... | 6 |
| История открытий..... | 9 |
| Инструменты и проекты изучения экзопланет..... | 13 |
| Астрономические спутники | 13 |
| Наземные обсерватории..... | 14 |
| Ведущие наблюдение транзитным методом | 14 |
| Ведущие наблюдение методом лучевых скоростей (доплеровским)..... | 15 |
| Прорабатываемые проекты: | 15 |
| Методы поиска экзопланет..... | 16 |
| Номенклатура | 18 |
| Свойства экзопланет | 20 |
| Невероятные планеты за пределами Солнечной системы..... | 22 |
| TrES-4 | 22 |
| HD 189733b..... | 23 |
| COROT-7b | 24 |
| WASP-12b..... | 25 |
| Kepler-10b | 26 |
| TrES-2b | 27 |
| PH1 | 28 |
| MOA-2011-BLG-322 | 29 |
| HIP 13044..... | 30 |
| Планеты в галактике Андромеды..... | 30 |
| TW Hydrae | 31 |
| Заключение | 32 |
| Литература..... | 33 |
| Приложение..... | 34 |

Введение

*Миры безграничны по числу, как похожие на этот
наш, так и не похожие.*

Эпикур. Из письма Геродоту (III - IV века до н.э.)

*Есть другие планеты, где ветры певучие тише,
Где небо бледнее, травы тоньше и выше,
Где прерывисто льются
Переменные светлы,
Но своей переменою только ласкают, смеются.
Есть иные планеты...*

Константин Бальмонт

*На тау Кита
Чегой-то не так,
Там нет атмосферы, там душно,
Но тау-китяне радушны...*

Владимир Высоцкий

Экзопланета (др.-греч. εξω, ехо – вне, снаружи), или внесолнечная планета – планета, обращающаяся вокруг звезды за пределами Солнечной системы. Планеты чрезвычайно малы и тусклы по сравнению со звёздами, а сами звёзды находятся далеко от Солнца (ближайшая – на расстоянии 4,22 световых года). Поэтому долгое время задача обнаружения планет возле других звёзд была неразрешимой, первые экзопланеты были обнаружены в конце 1980-х годов. Сейчас такие планеты стали открывать благодаря усовершенствованным научным методам, зачастую на пределе их возможностей.

На 12 декабря 2014 года достоверно подтверждено существование 1654 экзопланет в 1051 планетных системах, из которых в 575 имеется более одной планеты. Следует отметить, что количество надёжных кандидатов в экзопланеты значительно больше. Так по проекту <http://planetquest.jpl.nasa.gov/> на 12 февраля 2015 года числилось 3017 кандидатов, однако для получения

статуса подтверждённых требуется повторная регистрация таких планет с помощью наземных телескопов.

Общее количество экзопланет в галактике Млечный Путь, по новым данным, составляет от 100 миллиардов, из которых ~ от 5 до 20 миллиардов, возможно, являются «землеподобными». Также, согласно текущим оценкам, около 34 процентов солнцеподобных звёзд имеют в обитаемой зоне планеты, сравнимые с Землёй.

Подавляющее большинство открытых экзопланет обнаружено с использованием различных непрямых методик детектирования, а не визуального наблюдения. Большинство известных экзопланет – газовые гиганты и более походят на Юпитер, чем на Землю. Очевидно, это объясняется ограниченностью методов обнаружения (легче обнаружить короткопериодичные массивные планеты).

В последние десятилетия человечество радикально расширило свои горизонты: космический телескоп "Кеплер" открыл несколько тысяч потенциальных экзопланет, многие из которых находятся в обитаемой зоне и могут быть населены разумными существами. Более того, ученые постоянно объявляют о новых вариантах существования жизни: расширена обитаемая зона для пустынных планет, доказана потенциальная возможность жизни в системах красных и белых карликов. В нашей галактике может находиться гигантское количество планет – до 100 млрд, причем 500 млн - в обитаемой зоне.

Именно поэтому поиск и изучение экзопланет имеют такую важность для науки. Появление новых инструментов, а также разработка совершенных наземных и космических оптических приборов наконец-то предоставили астрономам возможность увидеть следы далеких миров.

Целью данной работы является продолжить ранее начатую работу и обобщить данные об экзопланетах, методах их обнаружения, классификации. А так же рассказать о некоторых удивительных планетах, так не похожих на известные нам.

Классификация планет

| | |
|-------------------------------------|--|
| <p>Планеты земной группы</p> | <p>Суперземля • Миниземля • Безъядерная планета • Железная планета • Углеродная планета • Планета-океан • Хтоническая планета • Пустынная планета</p> |
| <p>Газовая планета</p> | <p>Субкоричневый карлик • Газовый гигант • Горячий юпитер • Холодный юпитер • Горячий нептун • Холодный нептун • Гелиевая планета • Рыхлая планета • Эксцентрический юпитер • Водный гигант • Ледяной гигант</p> |

Суперземля (или сверхземля) – класс планет, масса которых превышает массу Земли, но значительно меньше массы газовых гигантов. Термин «суперземля» описывает исключительно массу планеты, но не зависит от степени её близости к своей звезде или каких-либо других критериев. Под суперземлёй понимают планету с массой 2-10 масс Земли.

Миниземля – планета, сопоставимая с Землей по размерам и массе или меньше её.

Железная планета – разновидность экзопланет земного типа, которая состоит, прежде всего, из насыщенного железом ядра с последующим тонким слоем мантии, либо без мантии.

Углеродная планета (другое возможное название – алмазная планета) – теоретическая разновидность экзопланет земного типа, которая была предсказана американским астрофизиком Марком Кюхнером. Условием для формирования планет такого типа является большое содержание углерода в протопланетном диске и малое содержание кислорода.

Планета-океан – разновидность планет, состоящих преимущественно из льда, скалистых пород и металлов (приблизительно в равных пропорциях по массе для упрощения модели). В зависимости от расстояния от

родительской звезды, возможно целиком покрыты океаном жидкой воды глубиной около 100 км.

Хтоническая планета или Юпитер, потерявший свою газовую оболочку, – гипотетический класс экзопланет, которые образовались в результате улетучивания газов из атмосферы газового гиганта. Такое улетучивание происходит у горячих юпитеров из-за сильной близости к звезде – планета постепенно теряет свою атмосферу. В результате от газового гиганта остаётся только небольшое каменное или металлическое ядро, и планета переходит в класс планет земной группы

Газовая планета – планета, состоящая в значительном составе из водорода, гелия, аммиака, метана и других элементов. Планеты этого типа имеют небольшую плотность, краткий период суточного вращения и, следовательно, значительное сжатие у полюсов; их видимые поверхности хорошо отражают, или, иначе говоря, рассеивают солнечные лучи.

Горячие юпитеры — класс планет с массой порядка массы Юпитера ($1,9 \cdot 10^{27}$ кг). В отличие от Юпитера, который находится на расстоянии 5 а.е. от Солнца, типичный горячий юпитер находится на расстоянии порядка 0,05 а.е. от звезды, то есть на один порядок ближе, чем Меркурий от Солнца и на два порядка ближе, чем Юпитер.

Холодный юпитер — класс экзопланет-гигантов с массой около массы Юпитера и находящихся на таком расстоянии от своей звезды, что большую часть тепла планета получает в результате внутренних процессов, а не от звезды. Орбита такой планеты находится на большом расстоянии от звезды. Иногда этот класс экзопланет называют двойниками Юпитера.

Горячий нептун – класс экзопланет, к которому относятся планеты с массой около массы Урана или Нептуна, которые расположены близко к своей звезде (всегда на расстоянии меньше 1 а.е.). Масса горячего нептона состоит из ядра и окружающей плотной атмосферы, которая занимает большую часть размера планеты.

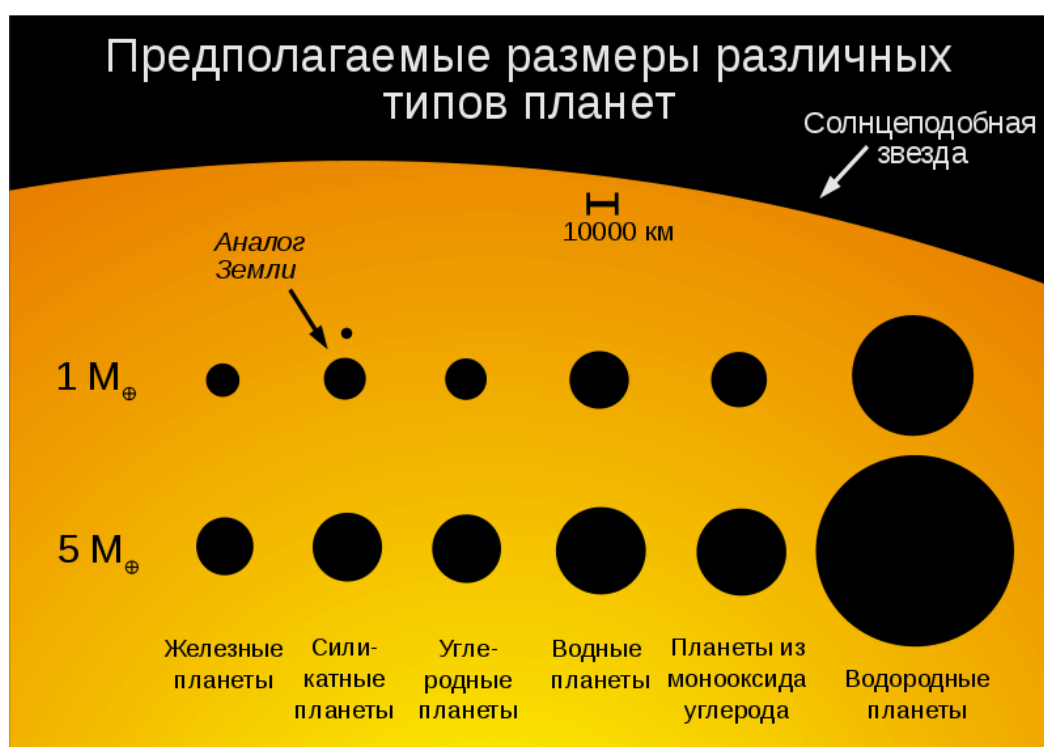
Холодный нептун – класс экзопланет, сравнимый по размерам с Нептуном и находящийся примерно на расстоянии двух и более астрономических единиц от своей звезды.

Гелиевая планета – теоретическая разновидность планет, которая формируется за счёт потери массы маломассивного белого карлика. Обычные газовые гиганты, такие как Юпитер и Сатурн, состоят, прежде всего, не из водорода, а из гелия в качестве вторичного составляющего. Гелиевая планета, однако, формируется в среде с отсутствием водорода, так как весь водород был переработан материнской звездой в гелий.

Эксцентрический юпитер – разновидность газовых гигантов, вращающихся вокруг звезды по сильно вытянутой орбите, имеющей большой эксцентриситет. Примерно такой же эксцентриситет имеют кометы.

Внегалактическая планета – это планета, находящаяся за пределами галактики Млечный Путь.

Троянская планета — это внесолнечная планета, обращающаяся в кратной системе звёзд вокруг одного из спутников основной звезды, которым может являться другая менее массивная звезда-компаньон, например, карликовая звезда или массивный газовый гигант.



История открытий

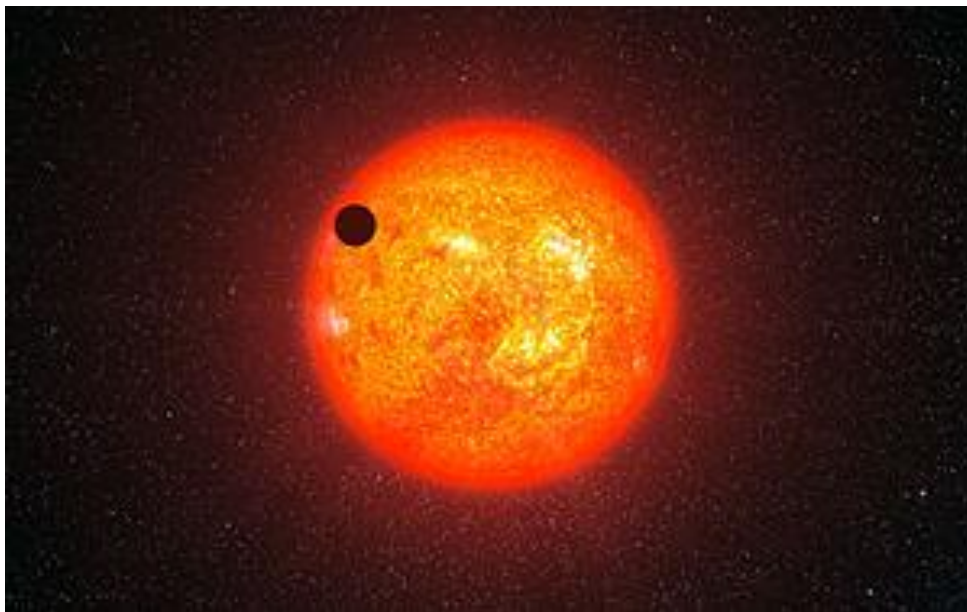
Исторически первым заявлением о возможности существования планетной системы у другой звезды было сообщение капитана Джейкоба (Capt. W. S. Jacob), астронома Мадрасской обсерватории (East India Company's Madras Observatory), сделанное в 1855 г. В нём сообщалось о «высокой вероятности» существования «планетарного тела» в двойной системе 70 Змееносца. Позже, в 1890-х годах, астроном Томас Дж. Дж. Си из Чикагского университета и Военно-Морская обсерватория США подтвердили наличие в системе 70 Змееносца несветящего тела (невидимого спутника) с периодом обращения в 36 лет, однако расчёты Ф. Р. Мультона опровергают подтверждения, выполненные Си, доказывая неустойчивость подобной системы. Поэтому на данный момент (2012 год) существование планетной системы у звезды 70 Змееносца не признаётся наукой.

Первые попытки найти планеты вне солнечной системы были связаны с наблюдениями за положением близких звёзд. Ещё в 1916 году Эдуард Барнард обнаружил красную звездочку, которая «быстро» смещалась по небу относительно других звёзд. Астрономы назвали её Летящей звездой Барнарда. Это одна из ближайших к нам звёзд и по массе в семь раз меньше Солнца. Исходя из этого, влияние на неё планет, если они есть, должно было быть заметным. В начале 1960-х годов Питер Ван де Камп объявил, что открыл у неё спутник массой с Юпитер. Однако Дж. Гейтвуд в 1973 году выяснил, что звезда Барнарда движется без колебаний и, значит, массивных планет не имеет.

В конце 1980-х годов многие группы астрономов начали систематическое измерение скоростей ближайших к Солнцу звёзд, ведя специальный поиск экзопланет с помощью высокоточных спектрометров.

Впервые внесолнечная планета была найдена канадцами Б. Кэмпбеллом, Г. Уолкером и С. Янгом в 1988 году у оранжевого субгиганта *Гамма Цфея А*, но подтверждена лишь в 2002 году.

В 1989 году сверхмассивная планета (или коричневый карлик) была найдена Д. Латамом около звезды HD 114762. Однако её планетный статус был подтверждён только в 1999 году.



Авторское представление о транзите планеты GJ 1214b перед своей звездой.

Первые экзопланеты были обнаружены у нейтронной звезды PSR 1257+12, их открыл астроном Александр Вольшчан в 1991 году. Эти планеты были признаны вторичными, возникшими уже после взрыва сверхновой.

В 1995 году астрономы Мишель Майор и Дидье Кело с помощью сверхточного спектрометра обнаружили покачивание звезды 51 Пегаса с периодом 4,23 сут. Планета, вызывающая покачивания, напоминает Юпитер, но находится в непосредственной близости от светила. В среде астрономов планеты этого типа так и называют «горячие юпитеры».

В дальнейшем, путём измерения лучевой скорости звёзд для поиска их периодического доплеровского изменения (метод Доплера) было обнаружено более сотни экзопланет.

В августе 2004 года в системе звезды μ Жертвенника была обнаружена первая планета – горячий нептун. Она обращается вокруг светила за 9,55 суток, на расстоянии 0,09 а. е., температура на поверхности ~ 900 К (+626°C), масса ~ 14 масс Земли.

Первая сверхземля, обращающаяся вокруг нормальной звезды (а не пульсара), была обнаружена в 2005 году около звезды Глизе 876. Её масса — 7,5 масс Земли.

В 2004 году было получено первое изображение (в инфракрасных лучах) кандидата в экзопланеты у коричневого карлика 2M1207.

13 ноября 2008 года впервые удалось получить изображение сразу целой планетной системы — снимок трёх планет, обращающихся вокруг звезды HR 8799 в созвездии Пегаса. Это первая планетная система, открытая у горячей белой звезды раннего спектрального класса (A5). Все открытые ранее планетные системы (за исключением планет у пульсаров) были обнаружены вокруг звёзд более поздних классов (F-M).

13 ноября 2008 года также впервые удалось обнаружить планету Фомальгаут b вокруг звезды Фомальгаут путём прямых наблюдений

В 2011 году Дэвид Беннетт из Университета Нотр-Дам (Индиана, США) объявил на основе наблюдений 2006—2007 годов на 1,8-метровом телескопе Университетской обсерватории Маунт-Джон в Новой Зеландии об открытии с помощью метода микролинзирования 10 одиночных юпитероподобных экзопланет. Правда, две из них могут быть высокоорбитальными спутниками ближайших к ним звёзд.

В сентябре 2011 года было объявлено об открытии двух экзопланет КIC 10905746 b и КIC 6185331 b любителями астрономии в рамках проекта Planet Hunters, предназначенного для анализа данных собранных телескопом «Кеплер». При этом упоминалось о 10 кандидатах в планеты, но на тот момент только два из них с достаточной степенью уверенности определялись учёными как экзопланеты. Планеты были найдены добровольными участниками проекта среди данных, которые профессиональные астрономы по тем или иным причинам отсеяли и если бы не помощь добровольцев, то эти планеты вероятно остались бы неоткрытыми.

5 декабря 2011 года телескопом Кеплер была обнаружена первая сверхземля в обитаемой зоне — Kepler-22 b.

20 декабря 2011 года телескопом Кеплер у звезды Кеплер-20 были обнаружены первые экзопланеты размером с Землю и меньше – Kepler-20 e (радиусом 0,87 земного и массой от 0,39 до 1,67 масс Земли) и Kepler-20 f (0,045 массы Юпитера и 1,03 радиуса Земли).

22 февраля 2012 года учёные из Гарвард-Смита-Сондовского центра астрофизики на расстоянии 40 световых лет от Земли открыли первую экзопланету из воды – GJ 1214 b. Период обращения планеты вокруг звезды – красного карлика – 38 часов, расстояние составляет около 2 миллионов километров. Температура на поверхности планеты составляет примерно 230°C.



Взгляд художника на планету PSR B1620-26 b (открыта в 2003); планете около 12,7 миллиардов лет, это одна из старейших из известных экзопланет

Инструменты и проекты изучения экзопланет

Астрономические спутники

- COROT (ЕКА) — специализированный 30-сантиметровый орбитальный космический телескоп, снимающий кривые блеска многих звёзд в момент прохождения перед ними планет. Запущен 27 декабря 2006 года. Предполагалось с его помощью обнаружить десятки планет земного типа. К марту 2010 года COROT открыл семь экзопланет и один коричневый карлик.
- «Кеплер» (НАСА) — космический телескоп системы Шмидта с диаметром зеркала 0,95 м, способный одновременно отслеживать 100 тыс. звёзд. Запущен 7 марта 2009 года. Планировалось обнаружить около 50 планет, размерами идентичными Земле, и порядка 600 планет, в 2,2 раза превосходящих Землю по размеру. «Кеплер» обращается вокруг Солнца по орбите радиусом в одну астрономическую единицу. Расчётный срок эксплуатации был определен в 3,5 года. Позднее было объявлено о продлении миссии до 2016 года, однако в мае 2013 года телескоп вышел из строя. К этому времени «Кеплер» достоверно открыл 132 экзопланеты. Список надежных кандидатов внесолнечных планет содержал 2740 объектов.
- Gaia – космическая обсерватория. Спутник был выведен на орбиту 19 декабря 2013 года. Предполагается, что с помощью Gaia будет составлена трёхмерная карта части нашей Галактики с указанием координат, направления движения и цвета около миллиарда звёзд. Помимо этого, телескоп сможет открыть около 10 тыс. экзопланет, а также астероиды и кометы в Солнечной системе. Разработка миссии Gaia заняла 13 лет и обошлась в 740 млн евро.



Взгляд художника на планету HD 69830 d, астероидный пояс звезды HD 69830 на заднем плане

Наземные обсерватории

Ведущие наблюдение транзитным методом

- ✓ SuperWASP – самый успешный наземный обзор. Более 70 экзопланет найденных транзитным методом на 2012. Состоит из 2-х обсерваторий: SuperWASP-North в обсерватории Роке де лос Мучачос на острове Пальма (Канарские острова) и SuperWASP-South, находящейся в Южноафриканской астрономической обсерватории). Каждая состоит из 8 широкоугольных автоматических телескопов с апертурой 111 мм.
- ✓ Проект HATNet — сеть 6 автоматических телескопов с широким полем зрения, 4 из которых расположено на обсерватории им. Фреда Лоуренса в Аризоне, а 2 – на территории Смитсоновской астрофизической обсерватории на Гавайях. Открыто 33 экзопланеты (на начало 2012)

Ведущие наблюдение методом лучевых скоростей (доплеровским)

- ✚ HARPS — высокоточный спектрограф, установленный в 2002 году на 3,6-метровом телескопе в обсерватории Ла-Силья в Чили. Наблюдение ведётся методом лучевых скоростей. Часть ESO
- ✚ Обсерватория Кека – обсерватория из 2-х крупнейших в мире зеркальных телескопов. Диаметр первичных зеркал (всего их три, в каждом из телескопов) которых составляет 10 метров.

Прорабатываемые проекты:

- ❖ TESS — одобрен. Запуск в 2017 году.
- ❖ EChO — идёт теоретическая проработка проекта. В случае одобрения ЕКА запуск ориентировочно в 2022 году.
- ❖ Advanced Technology Large-Aperture Space Telescope (ATLAST) – запуск после 2025 года.

Помимо космических миссий, в будущем планируются развиваться наземные инструменты. К примеру, на строящемся Европейском чрезвычайно большом телескопе будет установлено оборудование, способное к изучению атмосферы экзопланет.

Методы поиска экзопланет

1. **Метод Доплера** – спектрометрическое измерение радиальной скорости звезды. Это самый распространённый метод. С его помощью можно обнаружить планеты с массой не меньше нескольких масс Земли, расположенные в непосредственной близости от звезды, и планеты-гиганты с периодами до примерно 10 лет. Планета, обращаясь вокруг звезды, как бы раскачивает её, и мы можем наблюдать доплеровское смещение спектра звезды.

На ноябрь 2011 года этим методом зарегистрировано 647 планет.

2. **Транзитный метод** связан с прохождением планеты на фоне звезды. В этот момент светимость звезды уменьшается. Метод позволяет определить размеры планеты, а в сочетании с методом Доплера – плотность планет. Дает информацию о наличии и составе атмосферы. Следует понимать, что этим методом можно обнаружить лишь те планеты, орбита которых лежит в одной плоскости с точкой наблюдения.

На ноябрь 2011 года обнаружено 185 планет.

3. **Метод гравитационного микролинзирования.** – Между наблюдаемым объектом (звездой, галактикой) и наблюдателем на Земле должна быть другая звезда (она выступает в роли линзы), фокусирующая своим гравитационным полем свет наблюдаемой звёздной системы. Если у звезды-линзы есть планеты, то появляется асимметричная кривая блеска и возможно отсутствие ахроматичности. У этого метода крайне ограниченное применение. Метод чувствителен к планетам с малой массой, вплоть до земной.

На сентябрь 2011 года было открыто 13 планет.

4. **Астрометрический метод.** – Основан на изменении собственного движения звезды под гравитационным воздействием планеты. С помощью астрометрии были уточнены массы некоторых экзопланет, в

частности, Эпсилона Эридана b. Будущее этого метода связано с орбитальными миссиями, такими, как SIM.

5. **Радионаблюдение пульсаров.** – Если вокруг пульсара вращаются планеты, то излучаемый сигнал имеет осциллирующий характер. Мощные направленные пучки излучения образуют в пространстве конические поверхности. Если на такой поверхности окажется Земля, тогда возможно зарегистрировать данное излучение.

На март 2010 года у двух пульсаров найдено пять планет (3+2).

6. **Прямое наблюдение.** – На сегодняшний день ни один современный телескоп не позволяет напрямую наблюдать экзопланету. Это связано с тем, что свет от планеты в миллиарды раз слабее, чем свет от звезды, а с учётом огромных астрономических расстояний – это сравнимо с тем, что пытаться разглядеть свет от свечи на фоне огромного города огней. Предполагается, что космический телескоп имени Джеймса Вебба благодаря огромному зеркалу 6,5 м и высокой разрешающей способности, возможно, станет первым телескопом, способным напрямую обнаруживать экзопланеты, а также подробно изучать состав их атмосфер.

Номенклатура



Взгляд художника на планету HD 189733 b

Открытым экзопланетам в настоящее время присваиваются названия состоящие из названия звезды, около которой обращается планета, и дополнительной строчной буквы латинского алфавита, начиная с буквы «b» (например: 51 Пегаса b). Следующей планете присваивается буква «c», потом «d» и так далее по алфавиту. При этом буква «a» в названии не используется, так как такое название подразумевало бы собственно саму звезду. Кроме того, следует обратить внимание на то, что планетам присваиваются названия в порядке их открытия, а не по мере удаления от звезды обращения. То есть, планета «c» может быть ближе к звезде, чем планета «b», просто открыта она была позднее (как, например, в системе Глизе 876).

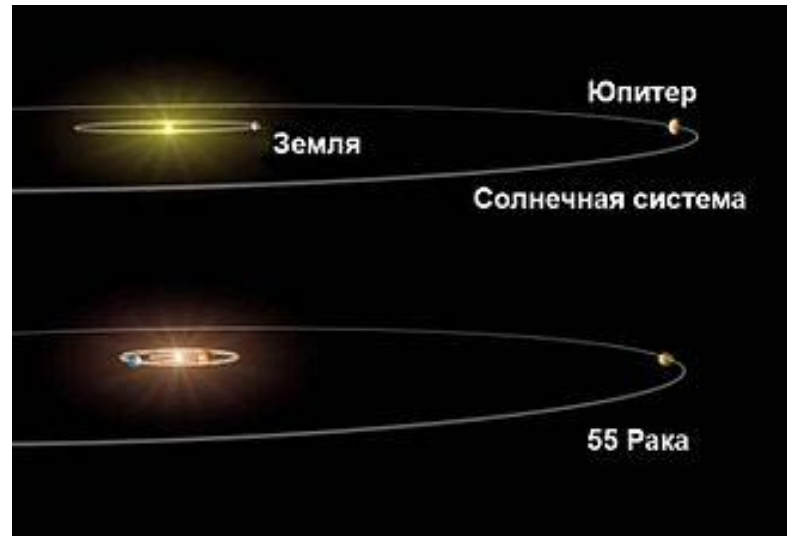
В названиях экзопланет существовало *исключение*. Дело в том, что до открытия системы 51 Пегаса в 1995 году экзопланеты называли иначе. Первые обнаруженные экзопланеты у пульсара PSR 1257+12 были названы прописными буквами PSR 1257+12 **B** и PSR 1257+12 **C**. Кроме того, после

обнаружения новой, более близкой к звезде планеты, она была названа PSR 1257+12 A, а не D. Впоследствии эти планеты были переименованы во избежание путаницы в соответствии с современной системой именования экзопланет.

Некоторые экзопланеты имеют дополнительные неофициальные «*прозвища*» (как, например, 51 Пегаса b неофициально названа «Беллерофонт»). Однако в научном сообществе в настоящее время присвоение официальных личных имён планетам считается непрактичным и, соответственно, широко не распространено.

Свойства экзопланет

Планеты обнаружены приблизительно у 10 % звёзд, включенных в программы поисков. Их доля растёт по мере накопления данных и совершенствования техники наблюдения.



Сравнение Солнечной системы с системой 55 Рака

Поначалу большинством открытых экзопланет были планеты-гиганты (так как планеты других типов обнаружить труднее). Однако к настоящему времени (2012 год) открыто множество планет с массами порядка массы Нептуна и ниже. Из 2326 кандидатов, обнаруженных телескопом Кеплер, 207 имеют примерно земной размер, 680 имеет размеры суперземли, 1181 – Нептуна, 203 – размер, сравнимый с юпитерианским, и 55 – больший, чем у Юпитера.

Наблюдается зависимость количества планет-гигантов от содержания тяжелых элементов (металлов) в звездах. Системы с планетами-гигантами встречаются также преимущественно у звёзд солнечного типа (классов K5-F5), в то время как у красных карликов их доля значительно меньше (у 200 наблюдаемых красных карликов обнаружены пока что только три подобные системы). Последние открытия, сделанные методом гравитационного микролинзирования, говорят о широкой распространённости систем с планетами средней массы типа Урана и Нептуна вместо газовых гигантов. Это

в первую очередь относится к маломассивным звёздам и звёздам с низким содержанием металлов.

Для ряда планет получена оценка их диаметра, что позволяет определить их плотность, а также строить предположения относительно наличия массивных ядер, состоящих из тяжёлых элементов. Европейские астрономы под руководством Тристана Гийо (Tristan Guillot) из Обсерватории Лазурного берега (Франция), установили, что при сравнении плотности планет с содержанием металлов в их звездах имеется определённая корреляция. Планеты, сформированные вокруг звёзд, которые являются столь же богатыми металлом, как наше Солнце, имеют маленькие ядра, в то время как планеты, звёзды которых содержат в два-три раза больше металлов, имеют намного большие ядра.

Наиболее близкой по условиям к Земле экзопланетой, известной на 2009 год, является Глизе 581 с, температура на которой, по предварительным оценкам, находится в диапазоне 0—40 °С. Также теоретически на этой планете возможно существуют запасы жидкой воды (что подразумевает возможность существования жизни).

Одним из открытых вопросов экзопланетологии является наличие у газовых гигантов массивных лун, способных удержать достаточно плотную атмосферу. До сих пор наблюдений наличия лун сделано не было.

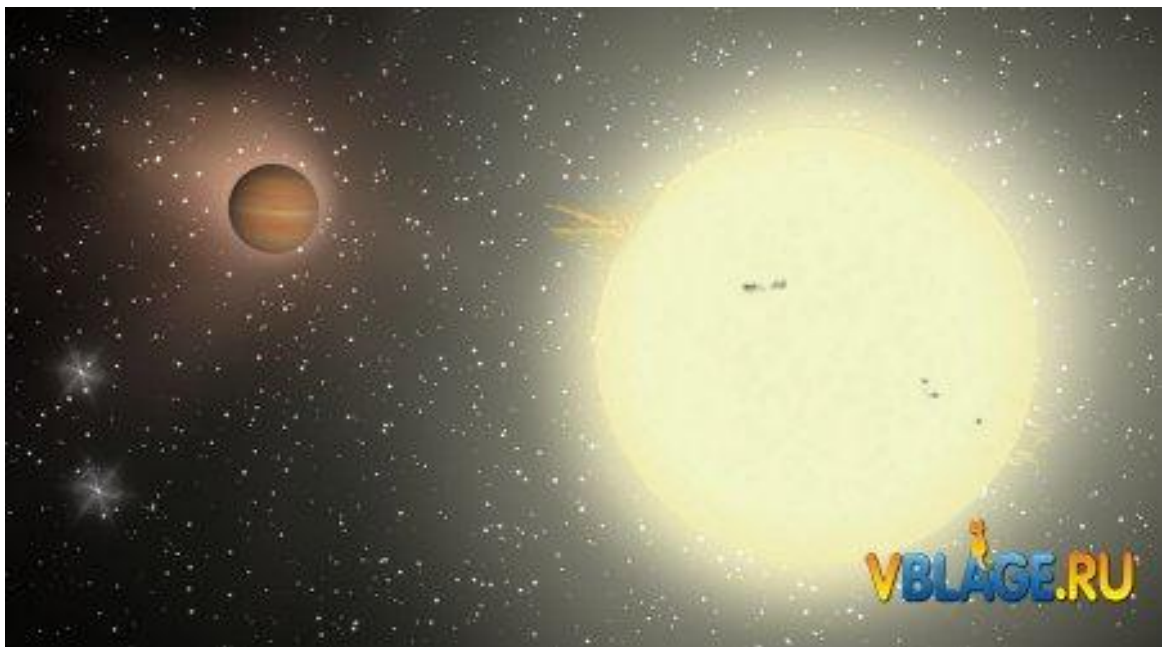


Ипсилон Андромеды d — это газовый гигант, содержащий водные облака. В представлении художника вокруг Ипсилон Андромеды d обращается луна, содержащая жидкий океан.

Невероятные планеты за пределами Солнечной системы

TrES-4

Самая большая планета из найденных во Вселенной – это TrES-4. Ее обнаружили в 2006 году, и располагается она в созвездии Геркулес. Планета под названием TrES-4 вращается вокруг звезды, которая находится на расстоянии около 1400 световых лет от планеты Земля. Исследователи утверждают, что диаметр обнаруженной планеты практически в 2 раза (точнее в 1,7) больше диаметра Юпитера (это самая большая планета Солнечной системы). Температура TrES-4 около 1260 градусов по Цельсию.



HD 189733b

HD 189733 b по массе и размерам немного превосходит Юпитер. При этом экзопланета — одна из самых горячих из известных, так как расстояние от HD 189733 b до её звезды в 30 раз меньше, чем расстояние от Земли до Солнца. Планета принадлежит к классу так называемых горячих юпитеров — газовых гигантов, расположенных очень близко к центральной звезде системы. Из-за близости к родительской звезде температура на HD 189733 b поднимается до 930 °C днём, и не опускается ниже 425 °C в тёмное время суток. Период обращения HD 189733 b вокруг звезды составляет меньше двух с половиной дней. Вероятно, вращение этой планеты синхронизировано с её орбитальным движением — планета всегда повернута к звезде одной стороной. Впервые ученым удалось определить как выглядит планета в оптическом диапазоне. При прохождении планеты сквозь диск звезды ученые зафиксировали снижение яркости всей системы в той части спектра, который соответствует видимому голубому цвету



COROT-7b

Год на COROT-7b длится чуть больше 20 часов. Неудивительно, что погода в этом мире, мягко говоря, экзотическая. Астрономы предположили, что планета состоит из литой и твердой горной породы, а не из замороженных газов, которые непременно выкипит при таких условиях. Температура по словам ученых падает с +2000 С на освещенной поверхности до -200 С на ночной.



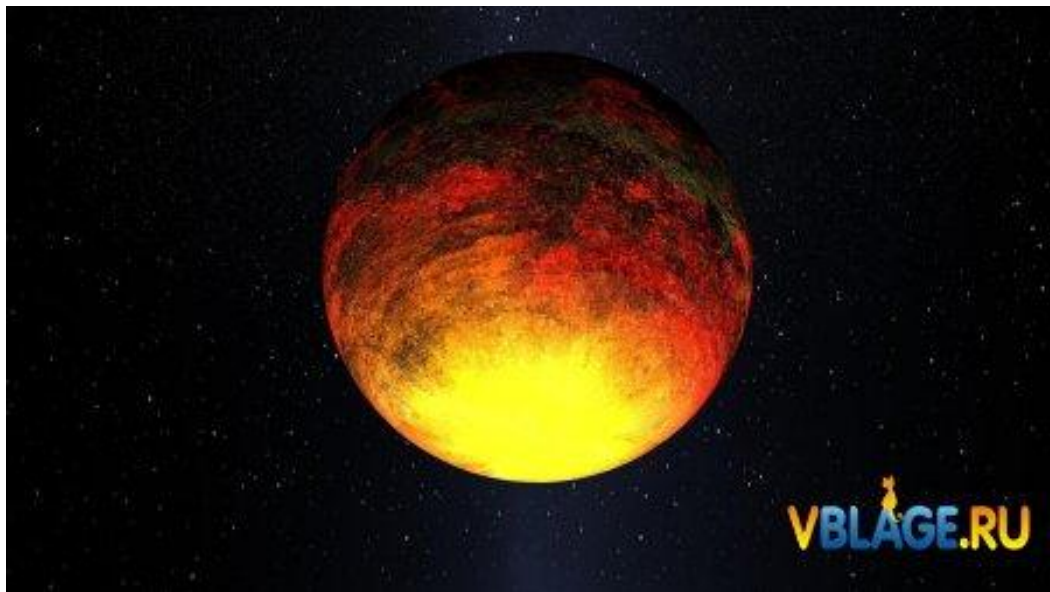
WASP-12b

Астрономы увидели космический катаклизм: звезда поглощает собственную планету, которая оказалась в непосредственной близости от нее. Речь идет об экзопланете WASP-12b. Она была обнаружена в 2008 году. WASP-12b, как и большинство известных экзопланет, обнаруженных астрономами, является большим газообразным миром. Однако, в отличие от большинства других экзопланет, WASP-12b вращается вокруг своей звезды на очень близком расстоянии - немногим более 1,5 миллиона километров (в 75 раз ближе чем Земля от Солнца). Огромный мир WASP-12b уже заглянул в лицо своей смерти, утверждают исследователи. Самая главная проблема планеты – ее размеры. Она выросла до такой степени, что не может удержать свою материю против сил гравитации родной звезды. WASP-12b отдает свою материю звезде с огромной скоростью: шесть миллиардов тонн каждую секунду. В этом случае планета будет полностью уничтожена звездой примерно через десять миллионов лет. По космическим меркам, это совсем немного.



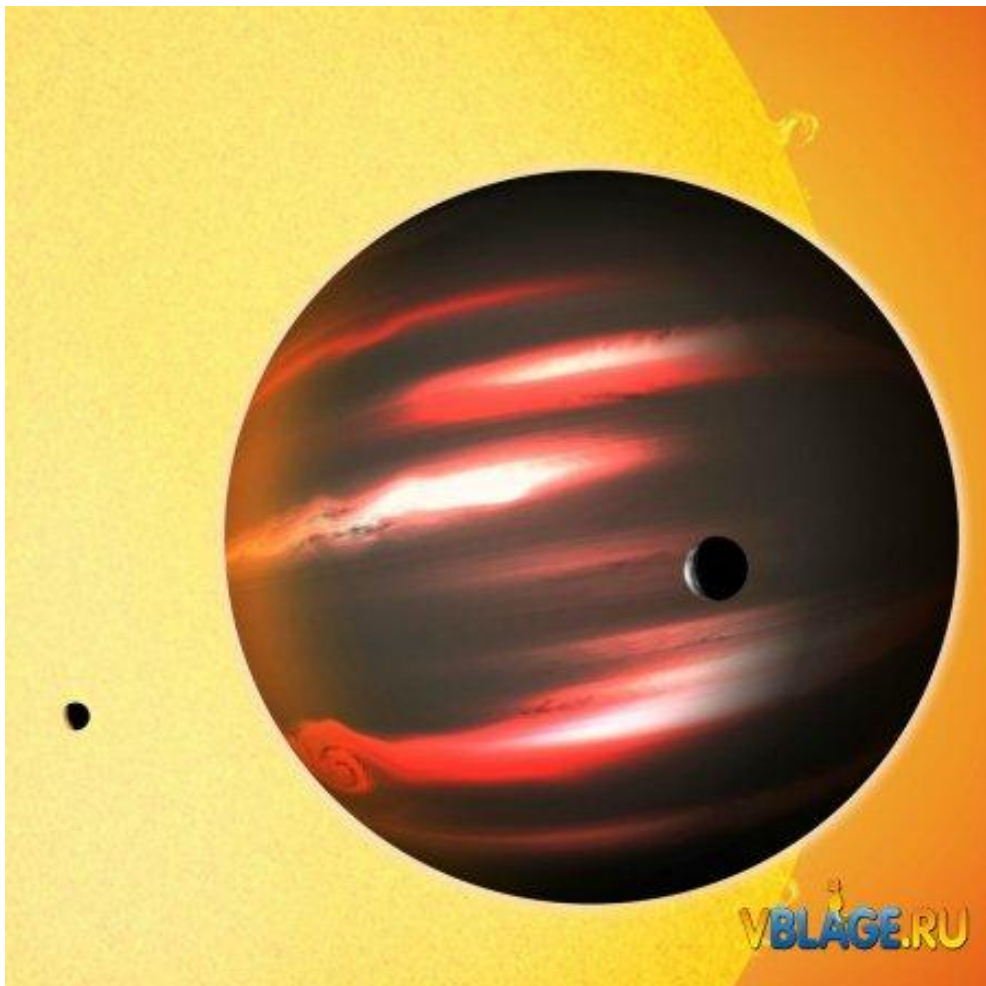
Kepler-10b

С помощью космического телескопа астрономы смогли обнаружить самую маленькую каменную экзопланету, диаметр которой составляет около 1,4 диаметра Земли. Новая планета получила обозначение Kepler-10b. Звезда, вокруг которой она вращается, находится на расстоянии около 560 световых лет от Земли в созвездии Дракона и похожа на наше Солнце. Относясь к классу «суперземель», Kepler-10b находится на довольно близкой к своему светилу орбите, совершая оборот вокруг него всего за 0,84 земных суток, при этом температура на ней достигает нескольких тысяч градусов Цельсия. По оценке учёных, при диаметре в 1,4 диаметра Земли Kepler-10b имеет массу 4,5 земных.



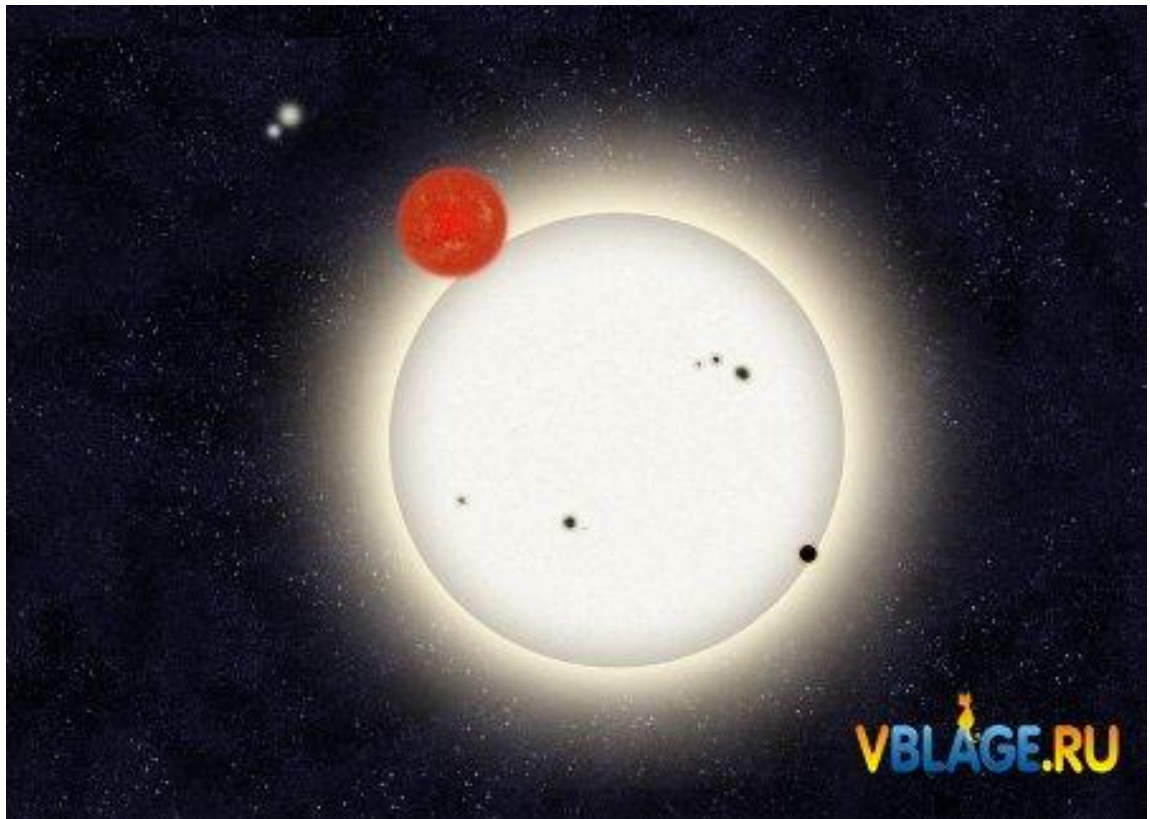
TrES-2b

Самая темная экзопланета - далекий, размером с Юпитер, газовый гигант TrES-2b. Измерения показали, что планета TrES-2b отражает менее одного процента света, что делает ее чернее угля и естественно темнее любой из планет солнечной системы. Работа, посвященная этой планете, была опубликована в журнале Королевского Астрономического Общества Monthly Notices. Планета TrES-2b отражает меньше света даже чем черная акриловая краска, так что это поистине темный мир.



PH1

Благодаря совместным усилиям астрономов-любителей, участвовавшим в проекте Planet Hunters, и профессиональных астрономов удалось обнаружить планету в системе из четырех звезд. Планета обращается вокруг двух звезд, вокруг которых в свою очередь обращаются еще две звезды.



MOA-2011-BLG-322

Гигантская экзопланета была обнаружена астрономами в самом центре галактики Млечный Путь. Открытие было сделано астрономами из Новой Зеландии, Японии, Польши и Израиля в ходе совместных наблюдений. Ее масса в 8 раз больше массы Юпитера, а звезда, вокруг которой она обращается (красный карлик) — в три раза меньше Солнца. Радиус орбиты экзопланеты – 4 астрономические единицы. Удивительно в этом то, что обычно массивные планеты очень редко формируются вокруг красных карликов. Если они и встречаются, то на расстоянии от 7 астрономических единиц.



HIP 13044

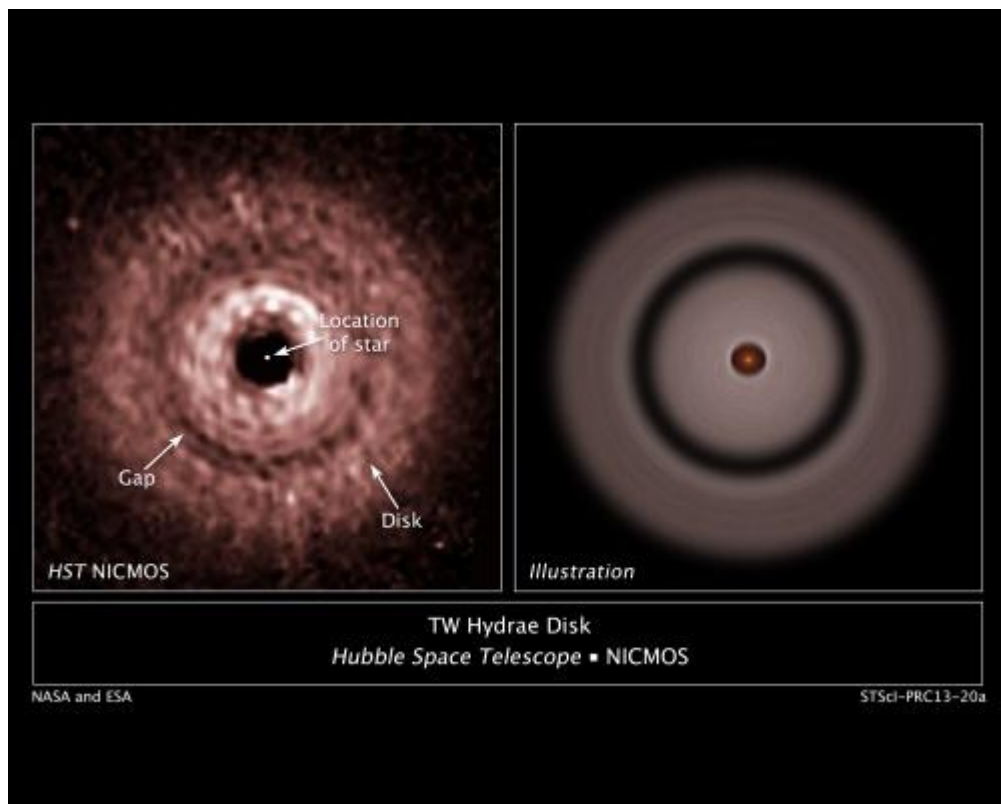
HIP 13044 — это звезда, находящаяся на расстоянии приблизительно 2000 световых лет от Земли, то есть ещё в пределах галактики Млечный Путь. Около этой звезды была обнаружена экзопланета HIP 13044 b. Наиболее интересно то, что эта звезда является частью так называемого звёздного потока Хелми. Он же, в свою очередь, представляет собой остатки небольшой галактики, которая столкнулась с галактикой Млечный Путь, была разорвана и поглощена ею около 6 миллиардов лет назад. Возраст звезды HIP 13044 превышает 6 миллиардов лет. Таким образом, эта звезда и её планета сформировались в другой галактике, которая вращалась вокруг Млечного Пути или случайно проходила от него слишком близко. Это значит, что вращающаяся вокруг этой звезды планета HIP 13044 b когда-то была внегалактической планетой. Также интересно и то, что эта планета почти наверняка была поглощена своей звездой, когда та находилась в стадии красного гиганта, и, таким образом, провела несколько миллионов лет внутри звезды.

Планеты в галактике Андромеды

Предполагаемая внегалактическая планета была обнаружена в галактике Андромеды, ближайшей к нам крупной галактике. Она была открыта благодаря производимому ею гравитационному микролинзированию. Характер гравитационных искажений света указывает на звезду со спутником меньшего размера (от 6 до 7 масс Юпитера). Это — первая планета, теоретически предсказанная в галактике Андромеды.

TW Hydrae

Джон Дебес (John Debes) с коллегами из Института космического телескопа(США), используя «Хаббл», понаблюдал за молодым оранжевым карликом TW Гидры (звезда в созвездии Гидра, находящаяся в 176 световых годах от нас) возрастом примерно 8 млн лет и обнаружил в его краях планету-рекордсмена. Она удалена от звезды на расстояние, которое в 80 раз превышает дистанцию от Земли до Солнца (80 а. е.), при том что от Солнца до Плутона, к примеру, в среднем нет и 50 а. е. Оранжевая звезда на 45% легче Солнца и при младенческом возрасте в 8 млн лет, по нашим теориям, просто не могла успеть сотворить планету на таком удалении. Следовательно, по каким-то причинам формирование находки идёт быстрее, чем предписывают учебники.



Заключение

По совместному проекту США, Канады и Европы планируется запуск крупного космического телескопа JWST (James Webb Space Telescope). Этот гигант с зеркалом диаметром 6 метров, носящий имя бывшего директора NASA, призван заменить ветерана космической астрономии — телескоп «Хаббл». В числе его задач будет и поиск планет вне Солнечной системы. В том же году предстоит запуск комплекса из двух автоматических станций TPF (Terrestrial Planet Finder — «Поисковик планет земного типа»), предназначенного исключительно для наблюдений за атмосферами экзопланет, сходных с нашей Землей. С помощью этой космической обсерватории намечено искать обитаемые планеты, анализируя спектры их газовых оболочек для выявления водяного пара, углекислого газа и озона — газов, указывающих на возможность жизни. Наконец, в 2015 году Европейское космическое агентство отправит в космос целую флотилию телескопов Darwin, предназначенных для поиска признаков жизни вне Солнечной системы путем анализа состава атмосфер экзопланет.

Если космические исследования экзопланет пойдут по намеченным планам, то уже лет через десять можно ожидать первых надежных известий о планетах, благоприятных для жизни — данных о составе атмосфер вокруг них и даже сведений о строении их поверхностей.

В целом обнаружение первых внесолнечных планетных систем стало одним из крупнейших научных достижений 20 столетия. Решена важнейшая проблема — Солнечная система не уникальна; формирование планет рядом со звездами — это закономерный этап их эволюции. В то же время становится ясно, что Солнечная система нетипична: ее планеты-гиганты, движущиеся по круговым орбитам вне «зоны жизни» (область умеренных температур вокруг Солнца), позволяют длительное время существовать в этой зоне планетам земного типа, одна из которых — Земля — имеет биосферу. По-видимому, другие планетные системы редко обладают этим качеством.

Литература

1. Оазисы экзопланет - Георгий Бурба // Журнал «Вокруг Света» №9
Сентябрь 2006
2. <http://kosmos21.ucoz.com/index/0-10>
3. http://ru.wikipedia.org/wiki/Списки_экзопланетных_систем
4. <http://planetquest.jpl.nasa.gov/>
5. <http://space.rin.ru/articles/html/586.html>
6. <http://space.rin.ru/articles/html/587.html>
7. <http://www.cosmos-journal.ru/articles/2112/>
8. <http://old.computerra.ru/vision/579708/>
9. http://rnd.cnews.ru/reviews/index_science.shtml?2011/11/22/465443_1
10. <http://www.astronews.ru/cgi-bin/mng.cgi?page=news&news=4398>
11. <http://www.astronet.ru/db/msg/1163063>

Приложение

Некоторые планетные системы

- 51 Пегаса — Первая солнцеподобная звезда главной последовательности, у которой была обнаружена экзопланета.
- υ Андромеды — Первая звезда главной последовательности, у которой была обнаружена многопланетная система.
- ε Эридана — Не считая Солнца, это третья из ближайших звёзд, видимых без телескопа.
- 55 Рака — На текущий момент у неё известно 5 планет, одна из которых — 55 Рака e, транзитная горячая суперземля размером 2 земных.
- μ Жертвенника — Имеет одну из самых маломассивных известных экзопланет, возможно, принадлежащую к планетам земной группы.
- γ Цфея — Первая относительно тесная двойная звезда, у одной из компонентов которой (γ Цфея A) была открыта планета.
- Gliese 876 — Первый красный карлик, у которого была обнаружена планетная система.
- HD 209458 — Содержит одну из самых примечательных экзопланет — HD 209458 b «Осирис» — «испаряющаяся планета».
- OGLE-TR-56 — Первая звезда, планета которой была открыта транзитным методом.
- OGLE-235/MOA-53 — Первая экзопланета, обнаруженная благодаря эффекту гравитационного микролинзирования.
- 2M1207 — Вероятно, первое полученное изображение extrasolarной планетной системы.
- PSR 1257+12 — пульсар, планетная система которого была первой из обнаруженных за пределами Солнечной системы. Одна из планет, предположительно, имеет массу всего в 0,025 земной.
- HD 188753 — Первая тройная звёздная система, в которой была открыта экзопланета (HD 188753 Ab).

- HD 189733 — Впервые в истории изучения экзопланет была составлена карта температур поверхности для планеты HD 189733 b.
- Глизе 581 c, Глизе 581 d, HD 85512 b и Kepler-22 b — Из известных в настоящее время экзопланет они достаточно схожи с Землёй.
- KOI-961 d — Наименьшая по массе (достоверной) из известных на данный момент (октябрь 2012) экзопланет ($<0,9$ массы Земли).
- WASP-17 b — Первая обнаруженная планета, которая вращается вокруг звезды в направлении, противоположном вращению самой звезды.
- COROT-7 b — Первая суперземля (февраль 2009), обнаруженная транзитным методом и имеющая размер 1,58 размера Земли.
- GJ 1214 b — Первая планета-океан (теоретически).
- HD 10180 — Звезда с максимальным числом открытых планет. На апрель 2012 года было обнаружено девять планет.
- Глизе 581 g — Планета с высокой вероятностью существования жидкой воды.
- Kepler-10 b — Первая железная планета (плотность планеты $8,8 \text{ г/см}^3$, плотность Земли - $5,52 \text{ г/см}^3$).
- Kepler-11 — звезда, которая находится в созвездии Лебедя на расстоянии около 613 парсеков от нас. Вокруг звезды обращается, как минимум, 6 планет.
- WASP-19 b — Экзопланета с периодом обращения вокруг звезды, равным 0,7888399 земных суток (18,932 часа).
- WASP-33 b — Самая горячая экзопланета из известных на 2011 год. Температура — 3200°C .
- WASP-43 b и GJ 1214 b — Обладают самыми «тесными» орбитами. WASP-43 b — среди горячих юпитеров, GJ 1214 b — среди сверхземель. У WASP-43 b большая полуось 0.014 а.е. (2 млн км или 5 звездных радиусов). Родительская звезда WASP-43 — самая маломассивная звезда из всех, около которых вообще были обнаружены горячие гиганты. У GJ 1214 b

большая полуось равна 0.014 ± 0.0019 а.е.(эксцентриситет орбиты меньше 0.27 — слабоэллиптическая орбита)

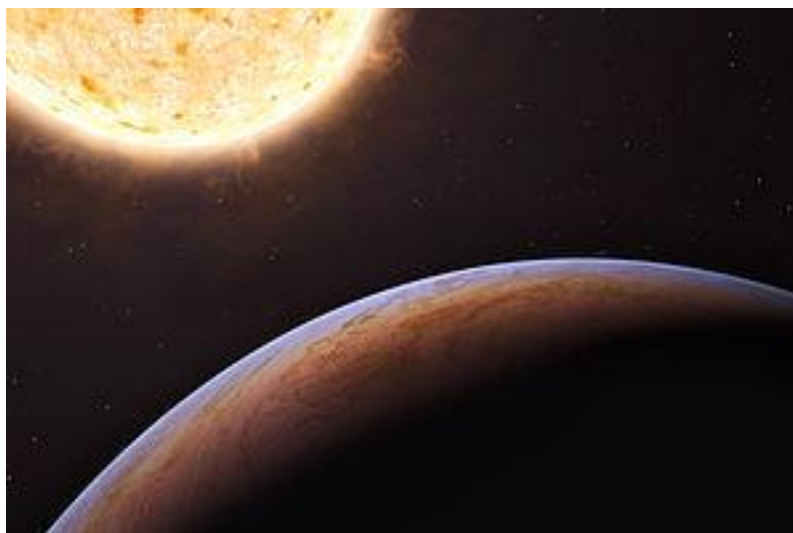
- КIC 10905746 b и КIC 6185331 b — Впервые экзопланеты открыты «любителями» среди массива данных, собранных «профессионалами» (проект Planet Hunters)



Взгляд художника на закат трёх светил на предполагаемом спутнике планеты HD 188753 A b

- Kepler-20 e и Kepler-20 f — Первые открытые экзопланеты размером с Землю и меньше, размеры Kepler-20 e составляют всего 0,87, а Kepler-20 f 1,03 радиуса Земли. Открыты телескопом Кеплер
- KOI-961 b, KOI-961 c и KOI-961 d — Экзопланеты у красного карлика KOI-961, радиусом 0,78, 0,73 и 0,57 радиуса Земли. Радиус KOI-961 d чуть больше, чем у Марса (0,53 радиуса Земли).
- 47 Большой Медведицы — Система, состоящая из 3 холодных юпитеров — 47 Большой Медведицы b, 47 Большой Медведицы c и 47 Большой Медведицы d.
- GD 66 b — Вероятно, первая гелиевая планета.
- HD 37605 c — Первый Холодный юпитер, обнаруженный в 2012 году.
- WASP-12 b — Экзопланета, у которой астрономами из России заявлено возможное существование первой открытой экзолуны (WASP-12 b I).

- HIP 11952 b и HIP 11952 c — экзопланеты у звезды HIP 11952 являются самыми старыми из открытых, с оценочным возрастом 12,8 млрд лет. Прежде это место занимала планета PSR B1620-26 b с возрастом 12,7 млрд лет.
- Альфа Центавра B b — ближайшая к Земле экзопланета.
- Тау Кита - ближайшая из обнаруженных многопланетных систем (пять планет, открытие пока не подтверждено).



HIP 13044 b, первая открытая планета внегалактического происхождения (в представлении художника).