Муниципальное Бюджетное

ОбщеобразовательноеУчреждение

«Лицей «Созвездие» № 131» городского округа Самара

II межшкольные Гагаринские чтения

Секция «Исследования Космического пространства»

МЕТОДЫ ПОИСКА ЭКЗОПЛАНЕТ

Выполнил:

Паркаев Матвей Дмитриевич,
ученик 10 «А» класса
МБОУ Лицей «Созвездие» № 131
г.о. Самара

Научный руководитель:

Левченкова Елена Александровна,
учитель физики
МБОУ Лицей «Созвездие» № 131
г.о. Самара

Самара, 2018

Содержание:

1.Введение 3

2.Методы поиска экзопланет 5

2.1 Прямое наблюдение 5

2.2 Метод Доплера 6

2.3 Метод периодических пульсаций 6

2.4 Транзитный метод 7

2.5 Метод гравитационного микролинзирования 8

2.6 Астрометрия 9

2.7 Метод наблюдения периодичности затмения двойных 9

3. Практическая часть 10

4. Выводы 11

5.Список использованных источников **12**

1. Введение

Многие годы людей, ученых интересовало, есть ли во Вселенной планеты, похожие на нашу Землю. Сегодня космологи ставят такие вопросы: имеются ли вообще другие планеты вне Солнечной системы?; существуют ли другие планетные системы во Вселенной, которые аналогичны Солнечной?; могут ли существовать «землеподобные» планеты? Солнце не одна единственная звезда во всей Вселенной, и вероятно, что вокруг других звёзд также вращаются планеты, как вокругСолнца.

Подобные планеты называются экзопланетами («экзо» от греческого «вне», «снаружи»). Это планеты, которые обращаются вокруг других звезд (не являющимися Солнцем). Эти звезды находятся далеко от Солнца (самая ближайшая - Проксима Центавра - на расстоянии 4,36 световых года), апланеты намного тусклее и меньше звезд, поэтому впервые обнаружить экзопланеты удалось только лишь в конце 1980-хгодов.

Первой попыткой обнаружить экзопланеты можно считать наблюдения за положением близкой к Солнцу красной тусклой звезды в созвездии Змееносца американским астрономом Эдуардом Бернардом (1857-1923). Он обнаружил, что эта звезда достаточно быстро перемещается по небу относительно других звезд (хоть и все звезды перемещаются хаотически в пространстве со скоростью до 50 км/с, эти перемещения остаются незаметными, если наблюдать с большого расстояния). Астрономы назвали ее Летящей звездой, или Звездой Бернарда. Так как эта звезда мала (в семь раз меньше массы Солнца), следовательно, влияние на нее возможных планет должно быть достаточно заметным. Но в 1973 году Дж. Гейтвудопроверг наличие планет, так как определил, что звезда движется без колебаний, а значит, Звезда Бернарда планет иметь не может. Впервые внесолнечная система была найдена в 1988 канадскими учеными Б.Кэмпбеллом, Г.Уолкероми С. Янгом у двойной звезды Гамма Цефея (45 световых лет от Солнца), но была подтверждена только лишь в 2003 году, когда планета Гамма Цефея Ab была обнаружена методом доплеровской спектроскопии. В

дальнейшем с помощью других методов было найдено несколько сотен экзопланет.

Так зачем люди открывают экзопланеты? Ведь путешествие до них займет много времени, а при нынешнем развитии науки и техники полет до них просто невозможен. Прямой полет может занять и тысячи, и миллионы лет,но связь по электромагнитной волне не настолько продолжительна, это всего лишь годы. Так что ученых все-таки волнует вопрос, единственные ли мы живые существа в огромной Вселенной, они пытаются найти разумных существ и выйти с ними на контакт. Это стремление не ново, еще в 20 веке люди отправляли послания о нашей планете вместе с различными межпланетными станциями. Первое такое послание было отправлено в 1972 г. вместе с межпланетной станцией «Пионер-10», а через год с «Пионер- 11». Послание было на рисунке, выгравированном на алюминиевом диске, прикрепленном к борту. На рисунке изображены люди на фоне космического аппарата., также на диске зашифрован наш обратный адрес. А на борту аппаратов «Вояджер-1» и «Вояджер-2», которые отправлялись для изучения планет за поясом астероидов, а сейчас летят за пределами Солнечной системы, астроном Карл Саган с коллегами прикрепили видеодиски с рисунками, фотографиями и звукамиприроды.

Исследуемая проблема на сегодняшний день достаточно **актуальна**, так как при обнаружении экзопланет станет возможна сравнительное изучение планетных систем, а также даст правильное представление о формировании и эволюции планетных систем, в том числе и нашей Солнечной системы. Также это поможет облегчить отбор гипотез возникновения жизникак на нашей планете, так и на экзопланетах, подобных Земле, если удастся обнаружить жизнь на таких планетах, поэтому данная работа актуальна.

В соответствии с этим, была поставлена **цель: провести полное исследование методов поиска экзопланет и сделать количественную оценку обнаруженных экзопланет на сегодняшний день.**

В соответствии с целью, были поставлены следующие **задачи:**

1. Дать подробное описание существующих на сегодняшний день методов поиска экзопланет.
2. Выявить недостатки и преимущества каждого метода.
3. Дать количественную оценку обнаруженных на сегодняшний день экзопланет.

2. Методы поиска экзопланет

Основной проблемой при поиске экзопланет является тот факт, что их довольно трудно обнаружить. Есть достаточно много методов поиска экзопланет, но мы рассмотрим только те, которые дали значительные результаты, доказав их состоятельность. Иные методы поиска экзопланет либо не дали результатов, либо находятся в стадии разработки.

2.1 Прямое наблюдение экзопланет

Планеты сами по себе холодные тела, которые не излучают свет, а лишь отражают его. Планету, находящуюся вдали от звезды, практически невозможно обнаружить в оптическом диапазоне. Если же экзопланета движется около звезды и освещена ее лучами, то удаленный наблюдатель подобную планету не сможет обнаружить из-за гораздо более яркого света самой звезды.

Представим, что мы находимся около ближайшей к нам звезды α Кентавра (расстояние до нее 4,34 световых года) и наблюдаем за нашей Солнечной системой. В таком случае для нас Солнце будет сиять очень ярко, а блеск планет окажется очень слабым и зависящим от ориентации в его сторону дневного полушария планеты. Крупные современные телескопы без труда могли бы обнаружить подобные неяркие объекты, если бы рядом с ними не было яркойзвезды. Но все-таки для удаленного наблюдателяугловое расстояние планет от Солнца очень мало, что делает задачу их обнаружения почти невозможной. Так и в нашем случае, наблюдая из Солнечной системы, мы едва ли смогли бы открыть сотни экзопланет, обнаруженных ныне, только лишь этим способом. На данный момент ученые создают подобные приборы. К примеру, изображение яркой звезды можно закрыть экраном для того, чтобы ее свет не мешал искать находящуюся около нее планету, данный прибор называют *звездным коронографом*. Есть и другой метод,

предполагающий «гашение» света звезды за счет эффекта интерференции ее световых лучей, — звездным интерферометром. Так как звезда и расположенная рядом с ней планета наблюдаются в разных направлениях, с помощью интерферометра можно добиться почти полного «гашения» света звезды. Но оба описанных прибора крайне чувствительны к влиянию земной атмосферы, поэтому для нормальной работы их нужно будет доставить на околоземную орбиту. Но в некоторых случаях мы действительно можем увидеть экзопланету, а точнее, ее свет. Некоторые планеты довольно много излучают, например, она может быть близка к звезде и нагрета до высокой температуры, или она только образовалась, продолжает сжиматься и у нее есть свой источникэнергии.

2.2 Метод Доплера (измерение скорости звезды)

Данный метод регистрации экзопланет один из самых распространенных и результативных. При помощи этого метода было найдено множество планетных систем (обычно это планеты с массой не меньше нескольких земных и расположенных вблизи от звезды, или же планеты-гиганты с периодом обращения до 10 лет). Зарегистрировано этим методом уже более 600 экзопланет.

Звезда, котораяобладает планетной системой, будет иметь собственную небольшую орбиту передвижения в ответ на притяжение планеты. Данный метод работает так: если наблюдать за Солнцем с нашей планеты, то в спектре звезды, движущейся относительно земного наблюдателя, меняется длина волны всех линий: если она приближается к Земле, то линии перемещаются к синему концу спектра, а если удаляется — к красному.

Скорость какой-либо звезды вокруг общего центра масс планетной системы во много раз меньше, чем у планеты. Скорость звезды от 1 м/с и выше все же может определяться с помощью современных спектрометров: HARPS или спектрометром HIRES нателескопе.

С помощью метода измерения скорости звезды астрономы могут определить амплитуду колебаний радиальной скорости для пары «звезда — одиночная планета», массу данной экзопланеты, период обращения, эксцентриситет и нижнюю границу значения массы планеты. И все же у данного метода присутствует один большой недостаток — возможность определения лишь минимальной массы планеты. Метод радиальных скоростей может использоваться как способ проверки наличия планет при подтверждении их открытий, сделанных при помощи другого способа регистрации экзопланет, транзитного метода. Если использовать оба метода в комплексе, то есть возможно узнать истинную массу планеты. Метод Доплера все же малопригоден для обнаружения многопланетных систем, и вскоре исчерпает свои возможности.

2.3 Метод периодических пульсаций

Данный метод регистрации экзопланет косвенный, то есть изначально он предназначался не для этого, но его высокая точность в определении движения пульсаров помоглав обнаружении планетных систем. Этот способ обнаружения подходит для планет, вращающихся вокруг пульсаров, к тому же с помощью него можно открыть планеты с массой даже меньше 1/10 массы Земли.

Данный метод основан на том, как вращение планеты вокруг пульсара меняет периодичность егоимпульсов, которыев обычном случае чрезвычайно постоянны и почти неизменны, ведь вращение пульсаров почти незаметно, поэтому можно принять его за величину постоянную.

И все же в этом способе есть один большой недостаток. В Млечном пути, в нашей галактике, пульсары не сильно распространены (известно всего около 2000 пульсаров), поэтому вероятность регистрации планет снижается, к тому же из-за сильного излучения пульсара жизнь на планетах, вращающихся вокруг таких звезд, быть не может.

2.4 Транзитный метод

На сегодняшний день данный методостается пока что единственным методом регистрации экзопланет с большой достоверностью. Метод транзитов заключается в обнаружении уменьшения светимости звезды в то время, как планета проходит перед ее диском, но данная величина зависит от размеров самой звезды и данной планеты. В отличииот других методов этот помогает определить не массу экзопланеты, а ее радиус. Планеты, найденные этим способом, называют транзитными.

Метод транзитов обычно используют вместе с методом Доплера, помогающего также оценить и массу исследуемой планеты, ее плотность и физическую структуру. Именно наиболее исследованные экзопланеты были обнаружены этими двумя способами.

Преимуществом транзитного метода является то, что он дает возможность определить, исходя из кривой блеска звезды, размеры планеты. Также данный способ регистрации экзопланет помогает тщательно изучить атмосферу планеты и ее состав. Во время транзита свет от звезды зачастую проходит сквозь верхние слои атмосферы. Изучив спектр этого света, ученые могут обнаружить химические элементы и сделать выводы о составе атмосферы. Кроме этого, когда планета блокируется своей звездой (вторичное затмение), можно определить излучение исследуемой экзопланеты. Если найти разность фотометрической интенсивности во время вторичного затмения и ее обычной интенсивности, то подобные действия могут дать возможность измерения температуры на планете и обнаружения наличия облаков.

Но у данного метода обнаружения экзопланет есть два существенных недостатка. В первую очередь, явление транзита может наблюдаться лишь у тех планет,у которыхорбита проходитпо диску звезды. Отношение D (диаметра) звезды к D планеты и есть вероятность расположения плоскости орбиты исследуемой планеты на линии прямой с данной звездой и удаленным наблюдателем с Земли. Иначе говоря, чем больше размер звезды и чем ближе к ней орбита планеты, тем вероятность регистрации экзопланеты увеличивается. Поэтому данный метод не может с полной достоверностью дать ответ на вопрос о наличии планеты у какой-либо звезды. Во-вторых, могут быть ложные срабатывания, поэтому обнаруженные транзиты требуется подтвердить дополнительным методом поиска экзопланет.

В 2006 году на орбиту Земли был выпущен спутник COROT, которым было обнаружено уже 17 экзопланет. Данный спутник был запущен с конкретной целью поиска транзитов. А в 2009 NASA запустило космический телескоп Кеплер. Он вел наблюдение за областью неба, где находится созвездие Лебедя, обнаруживал планеты размером в Землю в обитаемой зоне конкретной звезды. Но в мае 2013 года из-за неполадок телескоп прекратил свою работу. Помимо вышеперечисленных спутников существуют наземные

проекты, к примеру, MEarth.

2.5 Метод гравитационного микролинзирования

В 1991 году два ученых предложили использовать данную методику в обнаружении экзопланет, но успешность этого метода была подтверждена лишь в 2002 году в ходе эксперимента оптического гравитационного линзирования. В 2011 году с помощью этого метода было зарегистрировано 13 экзопланет.

В основе этого способа лежит явление отклонения света при прохождениивблизи массивных тел. Например, свет более далекой звезды проходит около более близкого к наблюдателю массивного тела, отклоняется в его гравитационном поле, поэтому из-за этого явления на телескоп попадает больше света, чем обычно. Если в случае того, что вокруг исследуемой звезды образуется планета, то она на некоторое время еще более усилит блеск далекой звезды, выступая в роли дополнительной линзы. И все-таки звезда сама может увеличивать свой блеск: например, гидродинамическое равновесие в переменных звездах сбрасывает излишнее давление в центре за счёт расширения и охлаждения внешних слоёв, то бишь звезда как бы «дышит». Также, наблюдаемая звезда может захватывать материал звезды-соседа (вспышка новой звезды).

Но нужно отличать явление гравитационного линзирования. Это достаточно легко, потому что переменным звездам характерна периодичность, а вероятность повторения линзирования крайне мала. То есть когда телескоп, звезда и линзирующий объект перестанут находиться на одной оптической оси, то линзирование прекратится, потому что абсолютно все звёзды в нашей Галактике движутся: их скорости складываются из упорядоченного движения звёзд вокруг центра Галактики, а также исходя из собственного хаотичного движения (то бишь сформировавшаяся из облака газа звезда сама по себе имеет определенную скорость по закону сохранения энергии и импульса, к тому же добавляется гравитационное взаимодействие со звёздами, находящимися поблизости, которое может изменить её траекторию).

Существенным недостатком является как раз то, что событие линзирования не может повториться, поскольку вероятность выравнивания Земли и двух звезд на одной линии практически равна нулю. А найденные планеты находятся на расстоянии многих тысяч световых лет, поэтому последующее наблюдение за ними невозможно.

Преимуществом данного метода является то, что он работает при любом угле отклонения, также этот метод чувствителен к планетам с малой массой, а также дает возможность обнаружения планет на далеком расстоянии от ее звезды.

2.6 Астрометрия

Этот метод является старейшим методом поиска экзопланет. Возник он еще в конце 18 века. Данный метод регистрации планет заключается в очень точном измерении положения звезды, а также изменение ее положения в течение времени. Наблюдаемая звезда будет менять свое положение под воздействием гравитационной силы вращающейся вокруг нее звезды, а двигаться она будет по маленькой эллиптической орбите, то есть звезда и планета будут вращаться вокруг общего центра масс (барицентра), но поскольку звезды намного больше планет, то зачастую центр масс находится внутри большего тела.

Недостаток данного метода в том, что изменения положения звезды настолько малы, а атмосферные искажения так велики, что даже современнейшие телескопы не смогут выполнить точныеизмерения.

Преимуществом этого способа является то, что он чувствителен к обнаружению планет с относительно большими орбитами, но для этого требуется достаточно долгий срок наблюдения, возможно, даже десятилетия, поскольку орбитальный период таких планет занимает длительное время.

2.7 Метод наблюдения периодичности затмения двойных

Данный метод не так распространен, как вышеперечисленные, так как он применятся для систем двойных звезд. Он является самым достоверным

методом поиска экзопланет, вращающихся вокруг двойных звезд. Эти звезды расположены так, что наблюдателю с Земли видно, как они периодически проходят перед диском друг друга. Наблюдаются такие явления как первичное и вторичное затмения. Момент, когда более яркая звезда закрывается диском второй звезды - это первичное затмение. А когда более яркая звезда закрывает своего «компаньона», то это вторичное затмение. Словно импульсы пульсара эти затмения периодичны. Тогда звезды под действием гравитационных сил планеты, вращающейся вокруг наблюдаемых звезд, будут смещаться относительно центра масс и двигаться по собственной небольшой орбите. Исходя из этого, моменты затмений будут меняться, то есть сначала происходить раньше или запаздывать, потом вовремя, а затем снова раньше или запаздывать.

3. Выводы

Изучение экзопланет началось около 25 лет назад, когда различные методы наблюдений позволили обнаруживать маломассивные спутники у звездных объектов. На сегодняшний день, т. е. на третий квартал 2017 года, известно немногим менее четырёх тысяч подтвержденных планет, открытых различными группами наблюдателей и различными методами, в том числе:

- более двух с половиной тысяч планет – транзитным методом, который основан на падении видимого блеска звезды при прохождении планеты по её диску;
- чуть менее тысячи планет – методом Доплера, или методом лучевых скоростей (radialvelocities), который заключается в спектрометрическом измерении вариаций лучевой скорости звезды;
- чуть менее ста экзопланет – прямым наблюдением, при котором решается трудная задача выделения в излучении, идущем от родительской звезды, сигнала от планеты;
- около 60 экзопланет – методом гравитационного микролинзирования, при котором планета у более близкой к Земле звезды (линзы) может

быть зафиксирована благодаря эффекту линзирования света от более далекой (т.е. фоновой) звезды-источника;

- чуть более двадцати планет методом тайминга периодических процессов (пульсаций, движения в двойной системе и т.д.).

Помимо этого – на сегодняшний день насчитывается ещё несколько тысяч кандидатов в экзопланеты, нуждающихся в подтверждении.

Астрофизика экзопланет является одной из наиболее бурно развивающихся областей астрономии. Неудивительно, что обилие и разрозненность наблюдательных данных, необходимость проверок и т.п. приводят к тому, что не существует единой базы по экзопланетам, где были бы собраны все сведения об этих объектах.

В настоящий момент существует ряд онлайн-ресурсов, на которых можно найти каталоги экзопланет (http://spacetimes.ru/exoplanets, http://www.exoplanetkyoto.org/catalog/?lang=en, http://exoplaneet.info/, http://www.allplanets.ru/extrasolar_all.php, http://phl.upr.edu/projects/habitable-exoplanets-catalog/data/database, http://www.univie.ac.at/adg/schwarz/multiple.html и др.). Кроме этого, существует большое количество доступных он-лайн данных наблюдений экзопланет или кандидатов. Так например, в феврале 2017 года ученые, работающие на тот момент уже порядка 20 лет в рамках проекта поиска экзопланет методом лучевых скоростей с помощью спектрометра HIRES на телескопе обсерватории им. Кека, выложили в открытый доступ базу с 65 тысячами измерений значений лучевых скоростей порядка 1700 звёзд, предоставив возможность принять активное участие в поиске экзопланет всем желающим. Также доступны многие данные спутника Кеплер, и организован специальный проект Planet Hunters, в рамках которого желающие могут участвовать в анализе данных и поиске экзопланет.

В поисках всеохватывающих, удобных для работы и внушающих доверие наличием ссылок на источники каталогов выбор был сделан в пользу рассматриваемых ниже четырёх баз по экзопланетам. Все четыре базы отличает также то, что они предоставляют возможность для оффлайн-

изучения: посетитель сайта каждой из этих баз может скачать каталог экзопланет в виде отдельного файла того или иного формата.

4. Список использованных источников

1. Википедия – свободная энциклопедия (https://ru.wikipedia.org/wiki/Экзопланета) (дата обращения: 4.01.2016)
2. ПостНаука- образовательный портал (http://postnauka.ru/courses/46100) (дата обращения:10.01.2016)
3. Груздов - свободная энциклопедия (http://gruzdoff.ru/wiki/Методы_обнаружения_экзопланет) (дата обращения:11.01.2016)
4. Энциклопедия Кругосвет - онлайн-энциклопедия (http://www.krugosvet.ru/enc/nauka_i_tehnika/astronomiya/EKZOPLANETA.html?page=0,0#part-3) (дата обращения:5.01.2016)
5. Элементы - сайт о науке (http://elementy.ru/novosti_nauki?discuss=432603&return=1) (дата обращения:10.01.2016)
6. Фонд знаний “Ломоносов” - энциклопедия (http://lomonosov-fund.ru/enc/ru/encyclopedia:0133537:article#История открытия экзопланет) (дата обращения:10.01.2016)
7. Академик - словари и энциклопедии (http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1208526) (дата обращения: 21.01.2016)
8. Планетные системы – новости планетной астрономии (http://www.allplanets.ru/tipy_exoplanet.htm) (дата обращения: 21.01.2016)
9. The Extrasolar Planets Encylopaedia (http://www.exoplanet.eu/catalog.htm)