

Научно-исследовательская
работа
Астрономия

Исследование планет двойных звёзд

Выполнила:
Денисова Яна
Александровна
учащаяся 10 класса
г. Челябинск, МАУДО «ДПШ»

Руководитель:
Папулова
Наталика Владимировна,
педагог дополнительного
образования высшей
категории МАУДО «ДПШ»,

Содержание

Введение	1
1. Двойные звезды	2
2. Планеты двойных звезд	4
3. Формирование планет в двойных системах	7
4. Условия существования планеты в кратных системах	8
5. Юпитер – «неудавшаяся звезда»	9
6. Возможность существования планеты в гипотетической системе Солнце-Юпитер (расчеты)	10
7. Заключение	12
Список источников информации	13
Приложение	14

Введение

Мой интерес к исследованию планеты двойных звезд возник после прочтения книги «Хрононавигаторы» и «Прыжок над бездной» Сергея Снегова [9], из которой я узнала, что могут существовать двойные и тройные звездные системы. Посмотрев фильм «Хроники Риддика», где действия происходят на планете, что обращается вокруг трех звезд, я заинтересовалась, а действительно ли возможно существование планеты с условиями для жизни при двойственности или кратности звезды? Также, я узнала, что планета Юпитер – это «неудавшаяся звезда». Считается, что планета могла бы стать коричневым карликом, если бы её масса была в несколько раз больше [2-5]. Но что бы тогда было с нашей планетой, существовала бы она вообще и могла бы там возникнуть жизнь? Изучение жизнепригодности на планетах двойных звёзд расширяет наши возможности по поиску обитаемых планет. **Актуальность** выбранной темы напрямую связана с интересом человека к вопросам возникновения жизни на экзопланетах в различных звездных системах. Как бы вращалась планета в нашей системе из двух звезд? Есть ли подобные системы в нашей Галактике? Эти вопросы определяют цель работы.

Цель работы: просчитать возможность нахождения планеты между двух звезд с заданными условиями.

Для этого поставлены следующие **задачи:**

- проанализировать существующие источники информации по теме,
- узнать о способах расчета траектории планет,
- провести собственные расчеты.

Объект исследования: планеты в кратных звездных системах.

Предмет исследования: траектория движения планеты в системе с заданными условиями.

Гипотеза: существование планеты со стабильной траекторией вращения в гипотетической системе Солнце-Юпитер возможно.

Методы исследования: анализ, моделирование, сравнение.

1. Двойные звезды

Сколько звезд в нашей Галактике? Разные источники дают разные цифры, от 200 до 400 миллиардов. Они могут различаться массой, возрастом, составом вещества [6]. Ученые среди звёзд Млечного пути обнаружили одиночные, двойные звёзды и кратные системы.

Двойные звезды — это две звезды, связанные между собой силами гравитации и обращающиеся по замкнутым орбитам эллиптической формы вокруг общего центра масс.

Кратные системы – это системы, в которых число звезд равно трём и более. Однако их движение в отличие от двойных звезд неустойчиво. В таких системах можно выделить двойную систему и вращающуюся вокруг этой пары третью звезду. Системы из четырех звезд чаще всего содержат две пары двойных подсистем. В качестве примера кратной тройной системы можно назвать систему Альфа Центавра с третьим компонентом Проксима Центавра [7]. Физически двойные звезды можно разделить на два класса:

1. Разделённые двойные системы - звёзды, между которыми обмен масс невозможен в принципе.
2. Тесные двойные системы - звёзды, между которыми идёт, будет идти или шёл обмен массами. Их в свою очередь можно разделить на:
 - полуразделённые, где только одна звезда заполняет свою полость Роша;
 - контактные, где обе звезды заполняют свои полости Роша.

Полостью Роша называется некоторая область вокруг двух звезд в форме трехмерной восьмерки, поверхность которой представляет собой критическую границу. Если тяготение достаточно сильно, наступает критический момент, когда вещество начинает утекать с одной звезды и падать на другую. Если одна из звезд вырастает настолько, что заполняет свою полость Роша, то вещество с нее устремляется на другую звезду в той точке, где полости соприкасаются. Часто звездный материал не опускается прямо на звезду, а сначала закручивается вихрем, образуя так называемый аккреционный диск. Если обе

звезды настолько расширились, что заполнили свои полости Роша, то возникает контактная двойная звезда [8]. Материал обеих звезд перемешивается и сливается в шар вокруг двух звездных ядер. Звезда переливается через край. Более массивная звезда быстро эволюционирует. Водород с ее внешних слоев перетекает на вторую звезду пары, первая вскоре образует лишь гелиевое ядро и называется белым карликом. Таким образом, в двойных системах происходит смена ролей. Если первой звездой является белый карлик, то при втором обмене на поверхности могут происходить яркие вспышки. Этот процесс мы называем новыми звездами. Если со второй звезды перетечет слишком много вещества на железный белый карлик, то может произойти очень мощная вспышка сверхновой. Фактически это взрыв белого карлика. В результате двойная система может распасться. В настоящее время в звездной паре Бета Лиры происходит обмен массами.

Физически двойные звезды классифицируются по способу наблюдения:
Визуальные двойные системы;

- Визуально двойными системами являются двойные звезды, которые возможно увидеть отдельно (или, как говорят, которые могут быть разрешены). Примером визуальной двойной системы является Бета Лебеда – Альбирео.
- Спектрально-двойной называют систему двойных звезд, если двойственность обнаруживается при помощи спектральных наблюдений, в которых происходит периодическое раздвоение спектральных линий. Примером для такой двойной системы может послужить Капелла.
- Затменные двойные системы – это звездные системы, в которых наблюдается периодическое изменение блеска пар звезд. Самым ярким примером подобной системы звезд является Алголь [1].

На сегодня составлены каталоги двойных звезд, представленные в таблице 2.

Таблица 2. Каталоги двойных звезд.

Способ наблюдения	Количество, шт.	Каталог
Визуально двойные	78000/110000	WDS/CCDM
Спектрально двойные	2839	SB9

Затменно двойные	7200	CEV
------------------	------	-----

2. Планеты двойных звезд

Если звезды в двойной системе находятся очень далеко друг от друга, обращаясь с периодом, скажем, в сотни лет, то они почти не влияют друг на друга и ведут себя так, как будто бы находятся в полном уединении. Планеты могут обращаться вокруг одной из звезд, и в общем случае присутствие второй звезды почти не оказывает на них влияния. Такие планеты называют планетами S-класса: в минувшем десятилетии были обнаружены десятки таких планет.

Намного интереснее случай, когда звезды настолько близки друг к другу, что оборот одной вокруг другой занимает всего несколько недель или даже дней. Чтобы планета в такой двойной системе имела стабильную орбиту, она должна обращаться вокруг обеих звезд, а не одной из них. Численные расчеты показывают, что расстояние орбиты планеты от звезд должно быть больше минимальной критической величины. Если орбита будет лежать слишком близко, вращающаяся двойная система нарушит устойчивость орбиты планеты и либо поглотит ее, либо выбросит в галактическое пространство [10]. Минимальное стабильное удаление планеты примерно в два-три раза больше расстояния между звездами. Планеты такого рода называют «планетами двойной звезды», или планетами P-класса.

Существует третий вариант, хотя планет с таким типом орбиты пока не найдено: орбита T-типа. В этой системе одна звезда в паре намного меньше другой. Меньшая звезда вращается вокруг большей звезды, и планета делит орбиту с меньшей звездой, гравитационно заблокированной в положении на 60° впереди или на 60° позади меньшей звезды. Эти позиции называются лагранжевыми точками. Планеты на орбитах T-типа иногда называют троянскими планетами - как, например, троянские астероиды, которые разделяют орбиту Юпитера вокруг Солнца [11] (Рисунок А.1).

Планеты, что находятся вне нашей Солнечной системы, называются экзопланетами. Их можно разделить по массе на три группы:

1. Планеты-гиганты. Их масса находится в интервале от 0.19 до 13 масс Юпитера. Состоят в основном из водорода и гелия, быстро вращаются. Из-за колоссального давления в недрах планеты водород переходит в металлическую фазу. Радиус планет, начиная от 0.3 масс Юпитера и до границы коричневых карликов, близок к радиусу Юпитера, или примерно в 10-11 раз превышает радиус Земли. Исключение составляют "горячие юпитеры" - планеты-гиганты, расположенные близко к своей звезде и имеющие эффективную температуру выше 1000К. Сильно нагретая светом близкой звезды, их атмосфера расширяется, увеличивая видимый радиус планеты до 1-1.4 радиуса Юпитера. Скорее всего, все планеты-гиганты имеют сильное магнитное поле, усиливающееся с ростом массы планеты. В Солнечной системе планеты-гиганты - Юпитер и Сатурн.

2. Нептуны. Масса этих планет находится в интервале от 7 до 60 масс Земли. Состоят большей частью из льдов и скальных пород, составляющих примерно четверть полной массы планеты. Доля водорода и гелия в составе планеты не превышает 15-20%. Давление в недрах недостаточно для перехода водорода в металлическую фазу. Радиус близок к 4 радиусам Земли. Магнитное поле сильно отличается от дипольного (например, планета может иметь два северных и два южных полюса). В Солнечной системе непуны - Уран и Нептун.

3. Планеты земного типа. Их масса меньше 7 масс Земли. Состоят в основном из силикатов (скальная компонента) и железа. Радиус меньше 2 радиусов Земли. В Солнечной системе планеты земного типа – Меркурий, Венера, Земля и Марс.

К концу 2020 года насчитывается более 4000 подтверждённых экзопланет [12].

1 пример: Система Kepler-16 включает в себя тесную двойную систему, вокруг которых обращается холодный газовый гигант Kepler-16b. Температура на его поверхности равна от -70 до -100 по Цельсию. Родительские звёзды Kepler-16b весят как 0,69 и 0,2 Солнца, а потому Kepler-16b находится дальше зоны обитаемости [13].

2 пример: [s-система] Система 30 Ari. Первая планета в этой системе KIC 4862625 представляет собой газовый гигант, она обращается вокруг своей основной звезды каждые 335 дня. Ранее в системе были обнаружены три звезды. Недавно ученые открыли еще одну звезду, что делает систему второй планетной системой с четырьмя звездами. Звезда, вокруг которой обращается планета, находится рядом с другой звездой. Вторая пара расположена на расстоянии около 1670 а.е. от первой. Жизнь в такой системе маловероятна. (Рисунок А.2). [14].

3 пример: [s-система] Планетная система у звезды Гамма Цефея.

Оборот вокруг звезды Гамма Цефея А b совершает за 903 дня. Ее минимальная возможная масса 1.85 масс Юпитера, а максимальная возможная масса 28 масс Юпитера. Большая полуось орбиты 2.05 а.е. [15].

4 пример: [p-система] Пара звезд Kepler 35А и Kepler 35В обладают планетой, которая получила наименование Kepler 35b, чей размер больше нашей планеты в восемь раз, а орбитальный период равен 131.5 земных дня [16].

5 пример: [p-система] Двойная система Kepler-38. Главная компонента — Kepler-38А, её масса составляет около 0,9 массы Солнца. Второй компонент — Kepler-38 В, является красным карликом и обращается на расстоянии около 0,146 а.е. от главной звезды. Вокруг них обращается, как минимум одна экзопланета — Kepler-38b, являющаяся тёплым нептун. Экзопланета обращается по круговой орбите на расстоянии 0,46 а.е. от родительской двойной звезды. Полный оборот экзопланета совершает за 105,6 суток [17].

6 пример: [s-система] Система Кеплер-68 состоит из двух компонентов А и Б. Вокруг которых обращаются три планеты Кеплер-b, Kepler-c и Кеплер-68d. Кеплер-68b имеет промежуточную плотность между ледяными гигантами и Землей, а Кеплер-68 с размером с Землю [18].

7 пример: [s-система] Система Gliese 667 состоит из трёх звёзд. Компоненты А и В разделены между собой расстоянием 12,6 а.е., а третья компонента системы С обращается вокруг центральной пары на расстоянии 230

а.е. Предположительно у данной системы имеется 7 планет. Примечательно, что Gliese 667 C f находится непосредственно в центре обитаемой зоны, также в обитаемой зоне находятся Gliese 667 C c и Gliese 667 C e. На этих планетах возможно наличие жидкой воды [19].

8 пример: [s-система] Ближайшая к нам звездная система Альфа Центавра состоит из трех звезд: Альфа Центавра А, Альфа Центавра В и Проксима Центавра. На данный момент подтвержденными планетами являются Проксима Центавра b, c. Проксима b, вращается вокруг своей звезды каждые 11 дней и находится в зоне обитания, она немного массивнее Земли и является ближайшей к нам экзопланетой, а также может быть ближайшим возможным пребыванием жизни за пределами Солнечной системы. Проксима c примерно в 7 раз тяжелее нашей Земли. Орбита Проксимы c лежит в 1,5 а.е. от звезды, полный оборот вокруг земли она совершает за около 1900 суток [20].

3.Формирование планет в двойных системах

На ранних стадиях формирования из-за присутствия второй звезды укорачивается околозвездный протопланетный диск, что влечет за собой два возможных последствия. Первое из них заключается в том, что усеченный диск имеет более быстрое развитие, оставляя меньше времени для формирования планеты. В двойных звездных системах, чей размер меньше 40 а.е типичное время существования диска менее 1 млн лет, в одиночных же системах диск живет около 5-10 млн лет. Второе последствие усечения диска состоит в том, что может не хватить массы на формирование планет-гигантов в близких двойных системах.

Стадия аккреции является промежуточной стадией, ведущей от планетезималей размеров в километр к планетным зародышам лунного размера. Для взаимного наращивания массы протопланетам необходимы небольшие скорости столкновения, иначе они будут разрушаться. Исследования показали, что важным механизмом в этом случае является связь между гравитационным притяжением второй звезды и сопротивлением первичного газового диска. Эта связь приводит к тому, что тела равного размера сталкиваются на малых

скоростях, позволяющих наращивать им массу, но тела разного размера сталкиваются на больших скоростях, что не приводит к благоприятному формированию.

Перспективы последних стадий формирования планет выглядят гораздо более многообещающими. Это в основном сводится к тому, что препятствовать аккреции объектов размером около 1000 км намного сложнее, чем объектам размером с километр. Исследования показали, что взаимный рост крупных зародышей возможен в основном во всех областях стабильности орбиты вокруг каждой звезды. Единственное предостережение заключается в том, что, конечно, этот последний этап может продолжаться только в том случае, если предыдущий этап планетезимальной аккреции был успешным в формировании зародышей лунного размера [21].

4. Условия существования планеты в кратных системах

Учёные-планетологи задались таким вопросом: могут ли планеты у двойной звезды быть похожими на Землю и обладать условиями, поддерживающими жизнь? При исследовании экзопланет учёные оперируют словосочетанием «зона обитания» — диапазоном расстояний вокруг звезды, в котором у землеподобной планеты, на её поверхности, будет существовать вода в жидком виде. В том случае, если две звезды вращаются вокруг друг друга, зона обитания рассматривается в зависимости от положения точки центра масс системы.

Исследования ученых показывают, что двойные звезды имеют механизм, благоприятствующий возникновению рядом обитаемых планет. Механизм этот прост: двойные звезды формируются из общего протозвездного облака и с момента рождения гравитационно связаны друг с другом. Приливные силы деформируют звезды, выпячивая их ближние бока по направлению друг к другу и останавливая собственное вращение. Благодаря этому вращение звезд с самого начала становится синхронным: двигаясь вокруг общего центра масс, каждое светило смотрит на соседку одной стороной. Этот эффект называют приливной синхронизацией, наблюдается он во вращении двойных звезд,

астероидов, планет и их спутников. Выигрыш от этого эффекта очевиден: сразу после рождения планеты получают куда меньше жесткого излучения и имеют все шансы сохранить атмосферу и воду. Что особенно интересно, исследователи заявляют, что будь наше Солнце такой двойной звездой с соответствующе увеличенными орбитами планет, то Венера и даже Марс не потеряли бы воду и значительную часть атмосферы до сего дня [22].

5. Юпитер – «неудавшаяся звезда»

Уже давно было ясно, что двойные звезды - не редкость, а закономерность в звездном мире, и ставился даже вопрос, а существуют ли вообще одиночные звезды? Да, существуют, можем мы утверждать теперь, и приведем в качестве примера, прежде всего Солнце, зная, что его планетная система не дает оснований для "зачисления" в разряд двойных и кратных звезд. Будь Юпитер в разы массивнее, наша звездная система являлась бы двойной, а Юпитер вероятнее всего стал бы в ней коричневым карликом.

Коричневые карлики – космические тела, занимающие по своим массам промежуточное положение между звездами и планетами, их масса равна приблизительно от 0,01 до 0,08 масс Солнца. От нормальных звезд они отличаются тем, что температура в их недрах никогда не достигает значений, необходимых для протекания термоядерной реакции. Но по сравнению с планетами, коричневые карлики на начальном этапе своей жизни все же разогреваются настолько, что «сжигают» в термоядерных реакциях некоторые редкие элементы (дейтерий, литий), что делает их на короткое время похожими на звезды [23]. Сейчас Юпитер в инфракрасной области спектра излучает на 60% больше энергии, чем от Солнца за счет процессов сжатия Юпитера [24].

6. Расчёты

Если масса Юпитера увеличится в 13 раз, то он превратится в ультра-холодный коричневый карлик. Такие звёзды совсем не светят. И если пролетать мимо ультра-холодного карлика на расстоянии в 1 а.е., то его можно и не заметить, если он не освещается другой звездой. В нашей Солнечной системе при таких условиях Юпитер бы светился отраженным от Солнца светом.

Если масса Юпитера увеличится в 80 раз, тогда он превратится в коричневого карлика. Такие звёзды светятся в рентгеновском и инфракрасном диапазоне, для человеческого глаза они воспринимаются как светильнично-красноватого цвета. При таких условиях наша Солнечная система превратилась бы в систему двойных звезд: желтый карлик (Солнце)–коричневый карлик (Юпитер) [1]. В расчетах увеличим массу Юпитера в 80 раз, расчеты смотреть в приложении (Рисунок Б.1)

Определив местоположение центра масс вращения в условиях двойной звезды, мы получили, что он располагается на расстоянии 4,8333 а.е. от Юпитера. Период вращения двойной звезды согласно III закону Кеплера будет равен [25]: 11,438 лет (4175 дней) – период вращения Юпитера уменьшится (Рисунок Б.2).

Все тела в системе испытывают гравитационное взаимодействие. Для того, чтобы понять, как поведёт себя планета Земля в новых условиях, необходимо определить радиус сферы Хилла для планеты Земля, для звезды Юпитер и для Солнца.

В первом приближении сферой Хилла является пространство вокруг астрономического объекта, в котором он способен удерживать свой спутник, несмотря на притяжение объекта, вокруг которого обращается. В свою очередь, у спутника есть собственная сфера Хилла, и любой объект в её пределах будет стремиться стать спутником спутника, а не планеты. При этом нахождение спутника в сфере Хилла какого-либо объекта не означает, что этот объект притягивает его сильнее, чем тот, вокруг которого обращается сам объект. Например, Солнце притягивает Луну в 2,2 раза сильнее, чем Земля.

Если орбита спутника планеты лежит за пределами сферы Хилла этой планеты, тогда он будет всё больше и больше подвергаться возмущению приливными силами центрального тела-звезды. В конечном итоге подчинённый объект-спутник перейдёт на орбиту центрального тела-звезды. Далее, необходимо определить радиус сферы Хилла для Юпитера-звезды, он составил 1,498 а.е. [26]:

Что же у нас получилось:

В гипотетической системе двойной звезды Солнце + Юпитер (звезда) размеры сферы Хилла Юпитера (звезды) не достигнет Земли.

Следовательно, коричневый карлик - Юпитер не будет оказывать влияние на движение Земли вокруг Солнца. А мы могли бы наблюдать одно нормальное солнце, и второе, куда менее заметное и очень маленькое светило, наверно слишком тусклое даже для того, чтобы отбросить вторую тень от предмета (Рисунок Б.3).

Кстати, учёным удалось обнаружить похожую систему. Международная группа астрономов обнаружила необычную систему небесных тел, состоящую из двойной звезды, около одной из компонент которой обращаются коричневый карлик и «горячий юпитер». Ученые наблюдали за двойной системой HD 87646 с помощью доплеровского инструмента КескЕТ. Благодаря высокой чувствительности прибора астрономы зафиксировали в двойной системе еще два объекта, обращающихся около самой крупной из звезд, HD 87646A (Рисунок Б.4).

Первый из них, HD 87646b, представляет собой «горячий Юпитер» с массой в 12,4 раза превышающей юпитерианскую. Второй объект, HD 87646c, оказался коричневым карликом с массой около 57 масс Юпитера. Его орбита пролегает в 1,58 а.е. от светила — примерно на том же расстоянии, что и Марс от Солнца. Год на HD 87646c длится 673 дня.

На расстоянии 22 а.е. от HD 87646A находится вторая звезда пары — HD87646B Главная звезда системы — желтый карлик, она на 12 процентов массивнее светила нашей системы и в полтора раза больше.

Сейчас нам известно, что формирование планет – это хаотичный процесс, предполагающий различный результат для каждой системы. В целом развиваются два основных направления. Согласно теории последовательной аккреции, крошечные частицы пыли слипаются, образуя крупные глыбы. Если такая глыба притянет к себе много газа, она превращается в газовый гигант, как Юпитер, а если нет — в каменистую планету типа Земли. В другом сценарии (теория гравитационной неустойчивости) утверждается, что газовые гиганты

формируются путем внезапного коллапса, приводящего к разрушению первичного газово-пылевого облака. Данный процесс в миниатюре копирует формирование звезд.

Если бы Юпитер набрал большую массу, то он бы стал второй звездой в нашей Солнечной системе.

7. Заключение

В данной работе была просчитана возможность нахождения планеты между двух звезд с заданными условиями. Гипотеза, заключающаяся в том, что существование планеты со стабильной траекторией вращения в данной гипотетической системе возможно, подтвердилась.

В ходе работы были изучены экзопланеты, обращающиеся вокруг кратных и двойных звездных систем. Также были изучены способы расчета траектории планет. Был рассмотрен ряд примеров планет, находящихся в различных звездных системах, которые отличаются: количеством звезд в системе, типом орбит, наличием других планет в системе.

В данной работе был произведён собственный расчет возможности нахождения Земли между двойной гипотетической звездной системой: Юпитер-Солнце. Рассчитано местоположение центра масс вращения, найден период вращения по III закону Кеплера для системы Юпитер - Солнце. Рассчитан радиус сферы Хилла для Юпитера.

Работа отвечает на вопросы, поставленные в её начале: «Как бы вращалась планета в нашей системе из двух звезд?» и «Есть ли подобные системы в нашей Галактике?». Результаты исследования могут помочь в понимании образования планет и их существования в двойных или кратных систем.

Список литературы

1. Астрономия /Е.П. Левитан – Просвещение, 2019. -240с.
2. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Юпитер>
3. URL: <https://iz.ru/news/280963> Может ли Юпитер стать звездой
4. URL : <http://www.astronet.ru/db/msg/1170734/jupiter.html> Юпитер

5. URL: <https://aboutsacejournal.net> Юпитер
6. URL: <http://www.astronet.ru/db/msg/1180523>
7. Астрономия XXI/ ред.-сост. В.Г. Сурдин- Фрязино: «Век 2», 2019. -608с.
8. URL:https://ru.wikipedia.org/wiki/Поллесть_Роша
9. Хрононавигаторы /С.А. Снегов – Амфора, 2006. -706 с
- 10.URL: <http://galspace.spb.ru/index61-6.html>
- 11.URL: <https://astronomy.com/magazine/ask-astro/2020/01/can-solar-systems-exist-in-a-binary-star-system>
- 12.URL: http://www.allplanets.ru/типу_exoplanet.htm
- 13.URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Kepler-16_b
- 14.URL:<http://wildwildworld.net.ua/articles/v-4-h-zvezdnoy-sisteme-30-ari-obnaruzhili-ekzoplanetu>
- 15.URL: https://elementy.ru/nauchno-populyarnaya_biblioteka/430717
- 16.URL: <http://www.astronet.ru/db/msg/1207520>
- 17.URL <http://www.allplanets.ru/star.php?star=Kepler-38>
- 18.URL:<https://orenburg.icity.life/news/nauka/all/18682-10-udivitelnyh-anomalnyh-kosmicheskikh-obektov>
- 19.URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Глизе_667_C_f URL:
- 20.URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Альфа_Центавра
- 21.URL: <https://arxiv.org/abs/1804.03676>
- 22.URL: <http://astronom-ntl.narod.ru/astro/soulsys/upiter.htm>
- 23.URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Коричневый_карлик
- 24.URL: <https://pub.wikireading.ru/42467>
- 25.URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Законы_Кеплера
- 26.URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Сфера_Хилла

Приложение

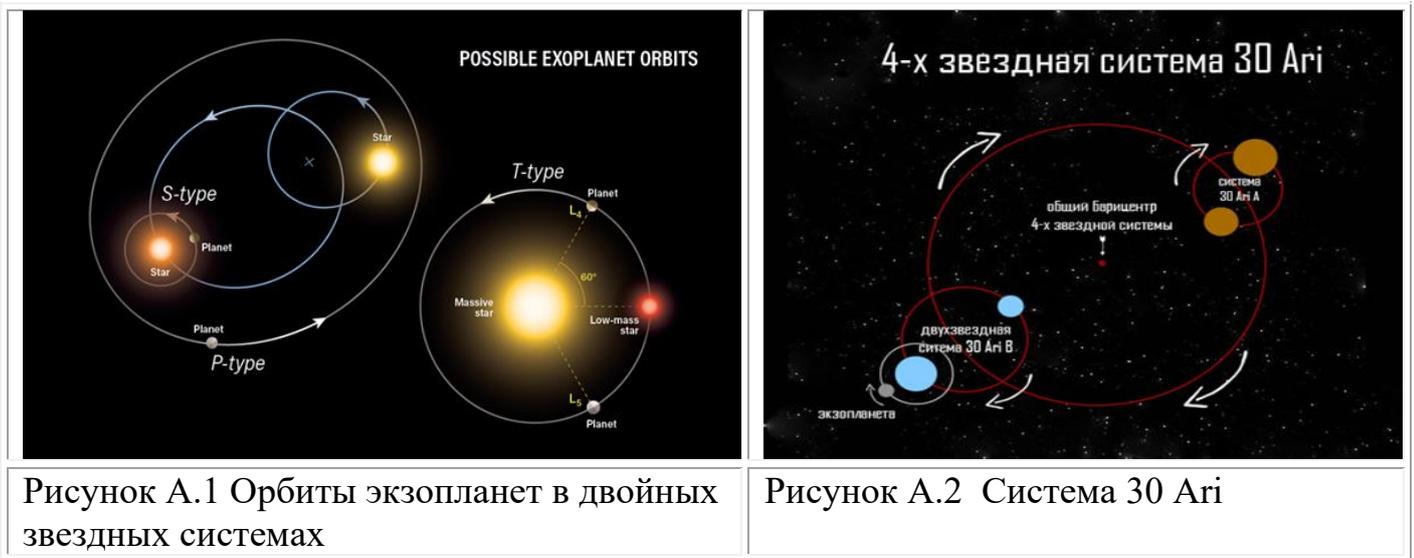


Рисунок А.1 Орбиты экзопланет в двойных звездных системах

Рисунок А.2 Система 30 Ari

Параметры Солнечной системы:

Масса Солнца $M_c = 1,9885 \times 10^{30}$ кг

Масса Юпитера $M_{Ю} = 1,9 \times 10^{27}$ кг

Масса Земли $M_3 = 5,97 \times 10^{24}$ кг

Расстояние между Солнцем и Юпитером $S = 778,33$ млн км (5,2028 а.е.)

Расстояние между Солнцем и Землей - 149,6 млн км (1,0 а.е.)

Радиус Солнца = 0,004652 а.е.

Юпитер совершает полный оборот вокруг Солнца за 4333 дня.

Земля совершает оборот вокруг Солнца за 365 дней.

$$R_{ц.м.} = \frac{M_c \cdot a_{Ю}}{M_c + 80 \cdot M_{Ю}} = \frac{1,9885 \cdot 10^{30} \cdot 5,2028}{1,9885 \cdot 10^{30} + 80 \cdot 1,9 \cdot 10^{27}} = 4,8333 \text{ а.е.}$$

$$T_{Ю}^2 = \frac{T_3^2 \cdot (M_c + M_3) \cdot a_{Ю}^3}{(M_c + 80 \cdot M_{Ю}) \cdot a_3^3} = \frac{(365)^2 \cdot (1,9885 \cdot 10^{30} + 5,97 \cdot 10^{24}) \cdot (5,2028)^3}{(1,9885 \cdot 10^{30} + 80 \cdot 1,9 \cdot 10^{27}) \cdot 1^3} = 11,438 \text{ лет}$$

$$R = a_{Ю} \cdot \sqrt[3]{\frac{80 \cdot M_{Ю}}{3 \cdot (M_c + 80 \cdot M_{Ю})}} = 5,2028 \cdot \sqrt[3]{\frac{80 \cdot 1,9 \cdot 10^{27}}{3 \cdot (1,9885 \cdot 10^{30} + 80 \cdot 1,9 \cdot 10^{27})}} = 1,498 \text{ а.е.}$$

Рисунок Б.1 Расчеты.

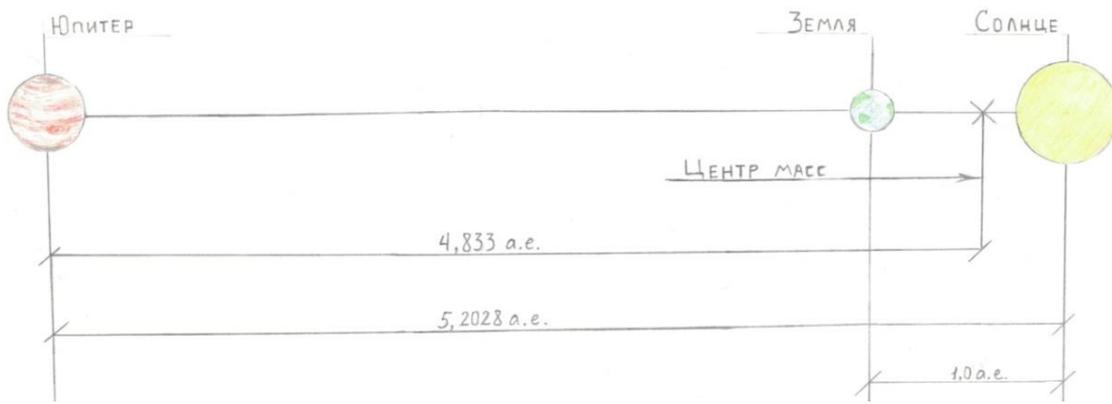


Рисунок Б.2 Местоположение центра масс вращения от Юпитера до Солнца в условиях системы двойной звезды

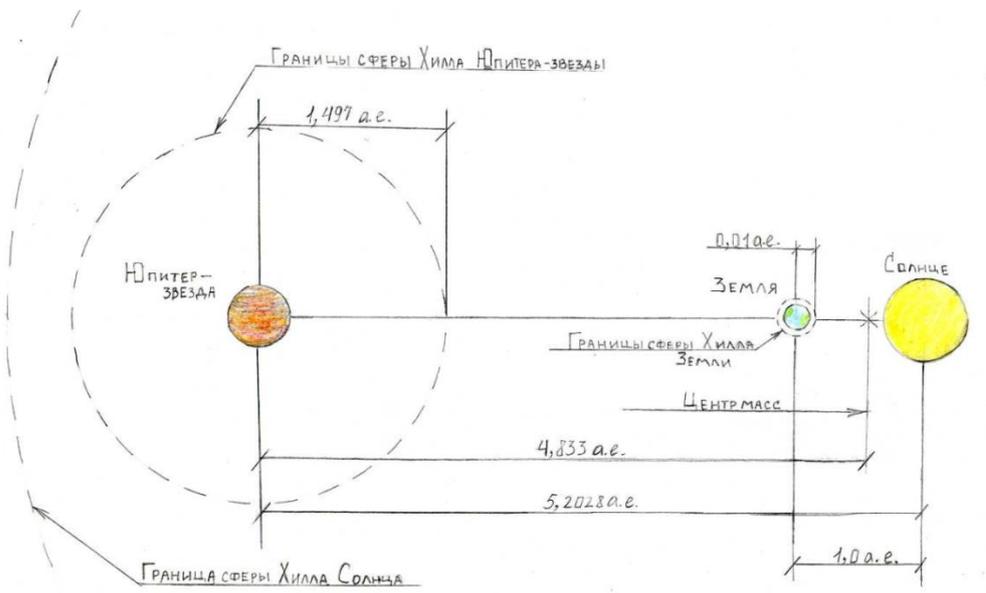


Рисунок Б.3 Двойная звездная система, состоящая из Солнца и Юпитера.

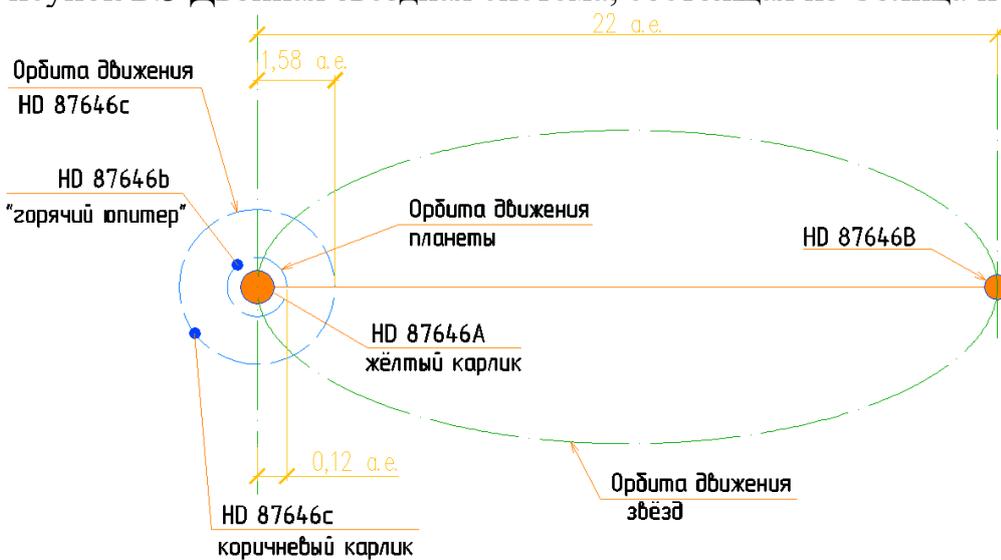


Рисунок Б.4 Двойная звездная система HD 87646