

УДК 530.19

КОМПЬЮТЕРНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ СИСТЕМЫ «ДВОЙНАЯ ЗВЕЗДА»

Мухамедия Қанат Булатбекұлы

Kanat-muhamedia@mail.ru

Магистрант ЕНУ им. Л.Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

Научный руководитель – Мукушев Б.А

Введение

Двойные звёзды - весьма распространённые объекты во Вселенной. Эти небесные тела обращаются вокруг общего центра масс. Измерив, период обращения и расстояние между компонентами двойных звезд, можно определить или оценить физические параметры системы. Этот способ практически не требует дополнительных физико-математических расчетов, и поэтому является одним из главных методов определения масс в астрофизике. По этой причине двойные системы, компонентами которых являются чёрные дыры или нейтронные звезды, представляют большой интерес для астрофизики [1-3].

1. Двойная звезда задача двух тел.

До недавнего времени основным объектом исследования небесной механики служило движение тел в поле центральной силы, когда масса центрального тела значительно превосходит массу тела, обращающегося по орбите. Например, движение планет вокруг Солнца или движение спутников около Земли. В этом случае массивное центральное небесное тело можно считать неподвижным, и задача сводится к определению закономерностей движения легкого небесного тела в заданном стационарном поле тяготения [4 - 8].

В сегодняшний день, космическое явление, когда массы взаимодействующих тел соизмеримы, стало одним из важных направлений исследования астрофизики. При этом число взаимодействующих тел может быть равно двум или больше двух звезд. Рассмотрим систему, состоящую из двух звезд, которые обращаются вокруг общего центра масс системы. Поскольку силы взаимодействия между телами подчиняются третьему закону Ньютона, задачу двух тел можно свести к задаче о движении «виртуального» тела с массой $\mu = m_1 m_2 / (m_1 + m_2)$, движущегося под действием стационарной силы, равной силе взаимодействия

«настоящих» тел. Масса μ называется приведенной массой. Когда два небесных тела взаимодействуют с силой тяготения, обратно пропорциональной квадрату расстояния, их движение происходит по законам Кеплера. Таким образом, оба тела движутся синхронно по эллипсам вокруг общего центра масс всей системы. Эти эллипсы являются геометрически подобными (Рис.1). В каждый момент времени эти звезды находятся на противоположных концах отрезка, проходящего через общий центр масс, и делят этот отрезок в отношении, обратно пропорциональном своим массам.

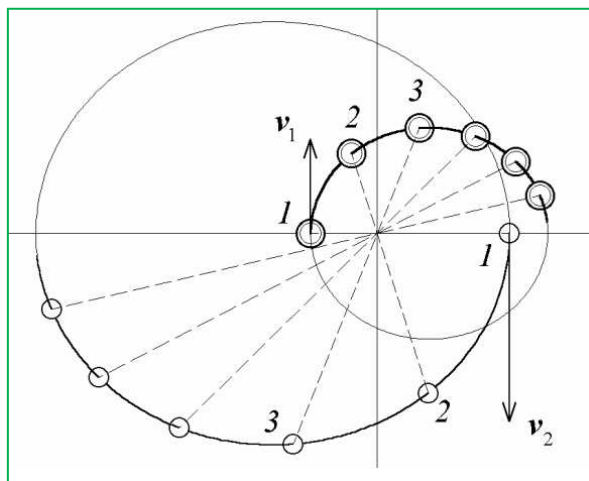


Рисунок 1 – Траектории компонентов двойной звезды в системе отсчета, связанной с центром масс системы.

Направление силы взаимопритяжения звезд проходит через общий центр масс двойных звезд. Каждая из звезд можно рассматривать как движущаяся не под действием силы тяготения другой движущейся звезды, а под действием центральной силы тяготения, создаваемой некоторым неподвижным источником, расположенным в общем центре масс двух звезд. Масса этого воображаемого источника носит название эффективной массы $M_{эфф}$. Расстояния звезд с массами m_1 и m_2 обозначим через r_1 и r_2 соответственно от общего центра масс системы. В этом случае, $m_1 r_1 = m_2 r_2$, и $r_1 + r_2 = (1 + m_1/m_2) r_1$. Последнее выражение позволяет выразить приложенную к первой звезде со стороны второй звезды силу тяготения F_1 только через расстояние r_1 первой звезды от общего центра масс:

$$F_1 = -G \frac{m_1 m_2}{(r_1 + r_2)^2} = -G \frac{m_1 m_2}{r_1^2 (1 + m_1/m_2)^2} = -G \frac{m_1 M_{эфф}}{r_1^2} \quad \text{где} \quad M_{эфф} = \frac{m_2^3}{(m_1 + m_2)^2} \quad (1)$$

2. Компьютерное моделирование системы «двойная звезда»

Компьютерное моделирование реализовано посредством пакета прикладных программ MathCad, что стало широко применяться при исследовании механики небесных тел [9-10].

1. Вычисление значений потенциала гравитационного поля системы «двойная звезда».

Задаем координаты центров звезд двойной системы: координаты центра первой звезды: $X_1 = 0$ и $Y_1 = 0$. Координаты центра второй звезды соответственно: $X_2 = 2$ и $Y_2 = 0$.

Задаем массы звезд двойной системы: $M_1 = 2$ и $M_2 = 1$. $K = M_2/M_1 = 0,5$

Уравнение потенциала системы «двойная звезда» выражается по формуле

$$U(x,y) = \frac{-1}{\sqrt{(X_1-x)^2+(Y_1-y)^2}} - \frac{K}{\sqrt{(X_2-x)^2+(Y_2-y)^2}} \quad (2)$$

На рисунке 2 и 3 представлены график потенциала гравитационного поля системы «двойной звезды» и линии уровня потенциала этого поля, полученные с помощью пакета MathCad.

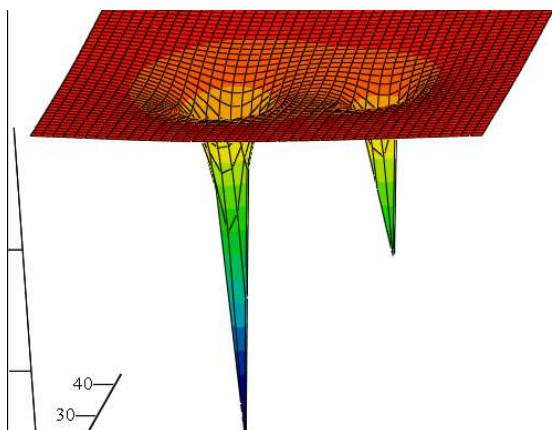


Рисунок 2 – Объемный график потенциала гравитационного поля системы «двойной звезды»

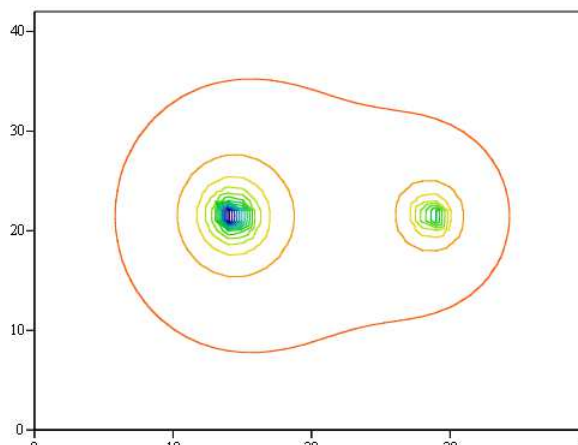


Рисунок 3 – Карта линий уровня потенциала гравитационного поля системы «двойной звезды»

1. Исследование системы «двойная звезда и планеты». Рассмотрим космическую изолированную систему, состоящую с двойных звезд и планет, вращающихся около центра массы этих звезд. Для этого мы будем исследовать следующую простую модель, суть которой заключается в следующем: период вращения звезд около центра масс двойных звезд много раз больше, чем период вращения планет вокруг этого центра масс. Общая масса звезд много раз больше чем масса планет. Нами проведены компьютерные эксперименты в среде ППП MathCad. Ниже представлены результаты этих экспериментов.

1-компьютерный эксперимент. В этом эксперименте мы исследовали систему двух звезд, отношение масс которых равно $K = M_2/M_1 = 0,5$. Эти звезды отображены красным цветом, а планеты - фиолетовым. А суммарная масса звезд много раз больше чем масса планет ($M_1/m_{пл.}=3000$). Планетам сообщены скорости с таким расчетом, чтобы они вращались вокруг центра масс звезд по замкнутой орбите. Эта система относится к более устойчивой системе «Двойная звезда - планеты».

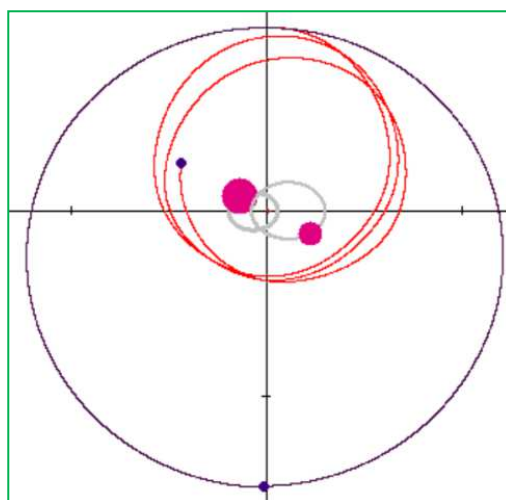


Рисунок 4 – Устойчивая система «Двойная звезда - планеты» $M_{звезд.} \gg m_{пл.}$

2 - компьютерный эксперимент. В этом случае масса второй звезды была много раз больше массы первой звезды. А масса первой звезды была соизмеримой массами планет ($M_2/M_1 = 2000$). На основе эксперимента мы убедились, что система «двойной звезды» превращается в систему, подобную Солнечной системе. Первая звезда вращается вокруг массивной звезды, как обыкновенная планета. Мы получили устойчивую систему «Двойная звезда - планеты» в условиях $M_2 \gg M_1$.

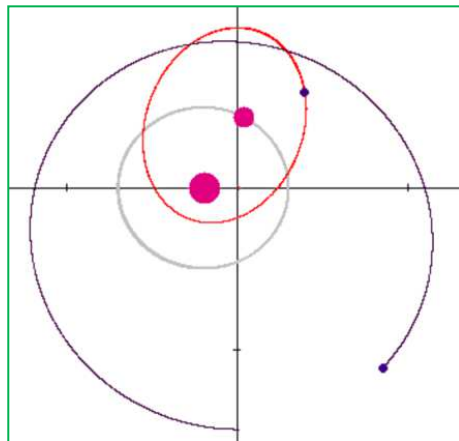


Рисунок 5 – Устойчивая система «Двойная звезда - планеты» в условиях $M_2 \gg M_1$.

3 - компьютерный эксперимент. Изменяя параметры системы «Двойная звезда» мы получили неустойчивую структуру. Здесь отношение масс двух звезд равно $K = M_2/M_1 = 0,5$. Мы, изменяя численные значения скорости и расстояния выбранной нами планеты от массы центра двойной системы (траектория планеты выделена фиолетовым цветом) добились неустойчивой структуры. В результате эта планета после трех вращений покинула систему двойных звезд. А движение другой планеты оказалось более устойчивым.

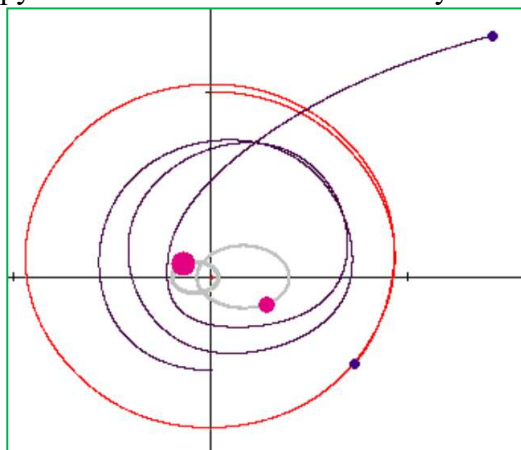


Рисунок 6 – Неустойчивая система «Двойная звезда - планеты»

Заключение

Проведено исследование физических параметров двойных звезд посредством ППП MathCad. В среде MathCad составлены программы, позволяющие проводить численные эксперименты. Исследованы механизмы существования системы «двойная звезда - планеты» и проанализированы устойчивая и неустойчивая структуры двойных звезд. Вычислены значения потенциала гравитационного поля системы «двойная звезда» и представлены его компьютерные модели. Были найдены два типа предполагаемых устойчивых орбит: а) Первый тип включает в себя движение легкого тела по круговой орбите, если оно изначально находилось на расстоянии, во много раз превышающем расстояние между компонентами двойной звезды. б) Второй тип предполагаемых устойчивых орбит проявляется в ситуации,

когда легкое тело является спутником одного из массивных компонентов двойной звезды. В этом случае планета движется по круговой орбите относительно ближайшего компонента двойной звезды.

Список использованных источников

1. Липунов В. М. В мире двойных звезд. - М.: Наука, 1986. - 208 с.
2. Дубошин Г.Н. Небесная механика: Аналитические и качественные методы. М.: Наука, 1964.- 800 с.
3. Лукьянов Л.Г., Ширмин Г. Лекции по небесной механике. Алматы. – 2009. – 227 с.
4. Мукушев Б.А., Исимов Н.Т. Үш дене туралы шектелген есеп // Вестник КазНТУ им. Сатпаева. - 2016.- №2.-С.504-510.
5. Sahade, J. The Transfer of Mass in Close Binary Stars // Astronomical Society of the Pacific. – 1958. - Leaflets, Vol. 7, p. 344 – 353.
6. Choi, J. Microlensing Discovery of a Population of Very Tight, Very Low Mass Binary Brown Dwarfs // The Astrophysical Journal, 768:129 (7pp), 2013 May 10.
7. Мукушев Б.А., Нурбакова Г.С., Исимов Н.Т. Гравитационное поле небесных тел // Вестник КазНТУ им. Сатпаева. – 2016. - №5.- С.70-75.
8. Мукушев Б.А. Күн жүйесін құрайтын планеталардың қозғалысын сандық әдіс негізінде зерттеу // Вестник КазНПУ им. Абая.- 2015. - №4. – С.114-120.
9. Очков В. MathCAD 14 для студентов, инженеров и конструкторов. – Санкт-Петербург. – 2007.
10. Nelson F. Using mathcad to simplify uncertainty computations in a laboratory course // Computer Applications in Engineering Education. - 2014.- Volume 23, Issue 2.- P. 250-257.