

Загадочная звезда

Работу выполнил Г.Е. Болдырев

Научный руководитель А.С. Байгашов

Аннотация

Работа посвящена исследованию гравитационного воздействия пролетающей массивной звезды на движение планет Солнечной системы. Задача решается методами численного моделирования в среде Python. Показано, что близкий пролёт массивной звезды способен разрушить Солнечную систему, существенно изменив траектории движения её внешних планет.

Введение

В рамках настоящей работы рассматривается гипотетическая «Загадочная звезда», пролетающая в непосредственной близости от Солнечной системы. Для иллюстрации этого процесса воспользуемся средствами численного моделирования, в частности, средой Python и её открытыми библиотеками. Это позволит не только с достаточной точностью посчитать изменения динамических параметров планет Солнечной системы, но и наглядно продемонстрировать процесс воздействия на неё пролетающей звездой, построив по результатам расчётов анимацию этого явления.

Таким образом, целью настоящей работы является численное моделирование воздействия пролетающей массивной звезды на объекты Солнечной системы. Для её решения необходимо задать уравнения, описывающие движение объектов Солнечной системы под воздействием гравитации, определиться с начальными условиями и постоянными величинами.

Постановка задачи

Для описания этого события необходимо определить место и относительную скорость Загадочной звезды, а также смоделировать объекты Солнечной системы. Изменение искомого параметра описывается системой дифференциальных уравнений силы гравитационного притяжения между двумя материальными точками

$$M_1 \cdot \frac{d^2 x_1}{dt^2} = - \frac{GM_1 M_2}{((x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2)^{\frac{3}{2}}} \cdot (x_1 - x_2)$$
$$M_1 \cdot \frac{d^2 y_1}{dt^2} = - \frac{GM_1 M_2}{((x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2)^{\frac{3}{2}}} \cdot (y_1 - y_2)$$

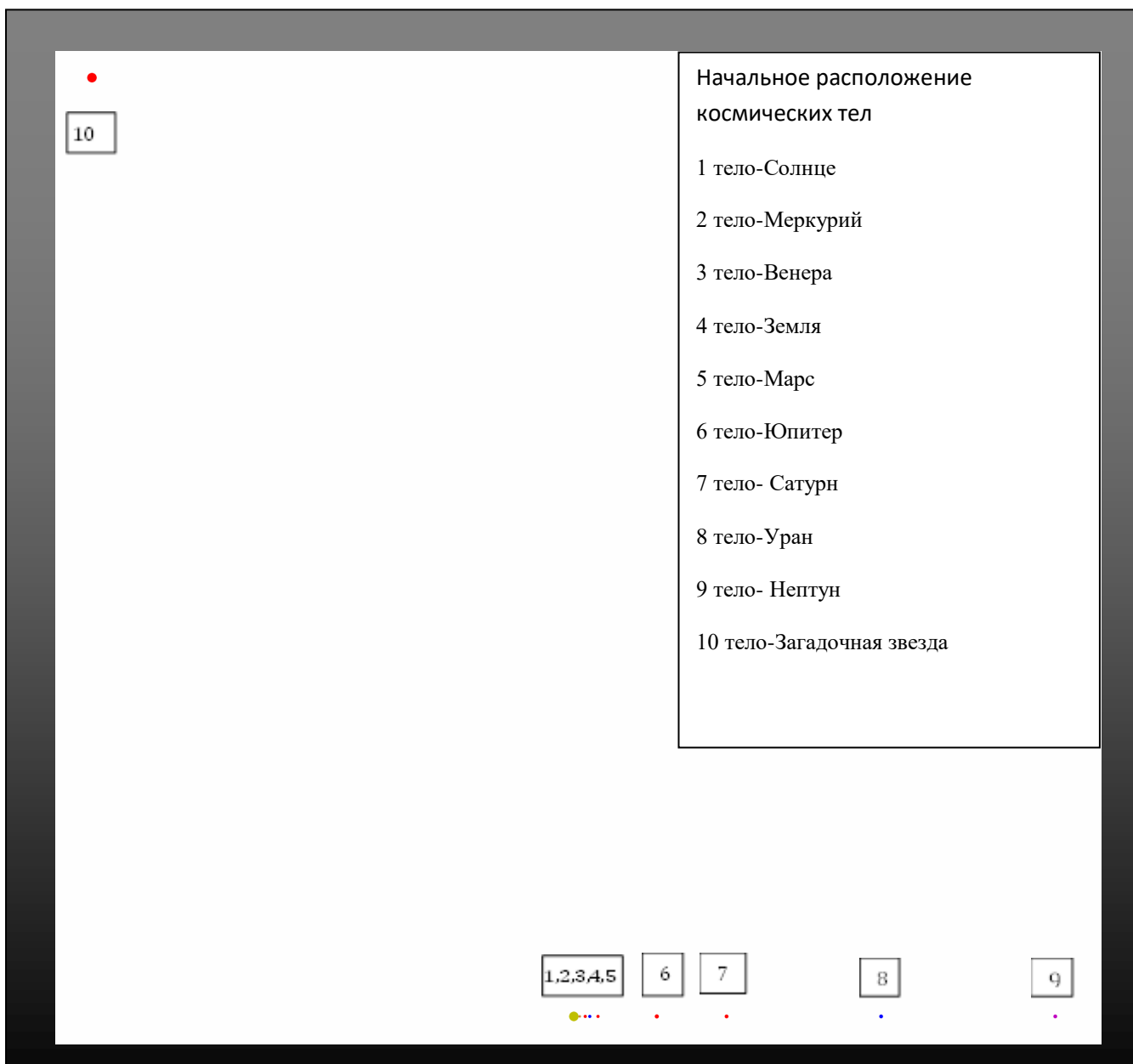
Система дифференциальных уравнений для моделирования движения первого тела под действием второго
--

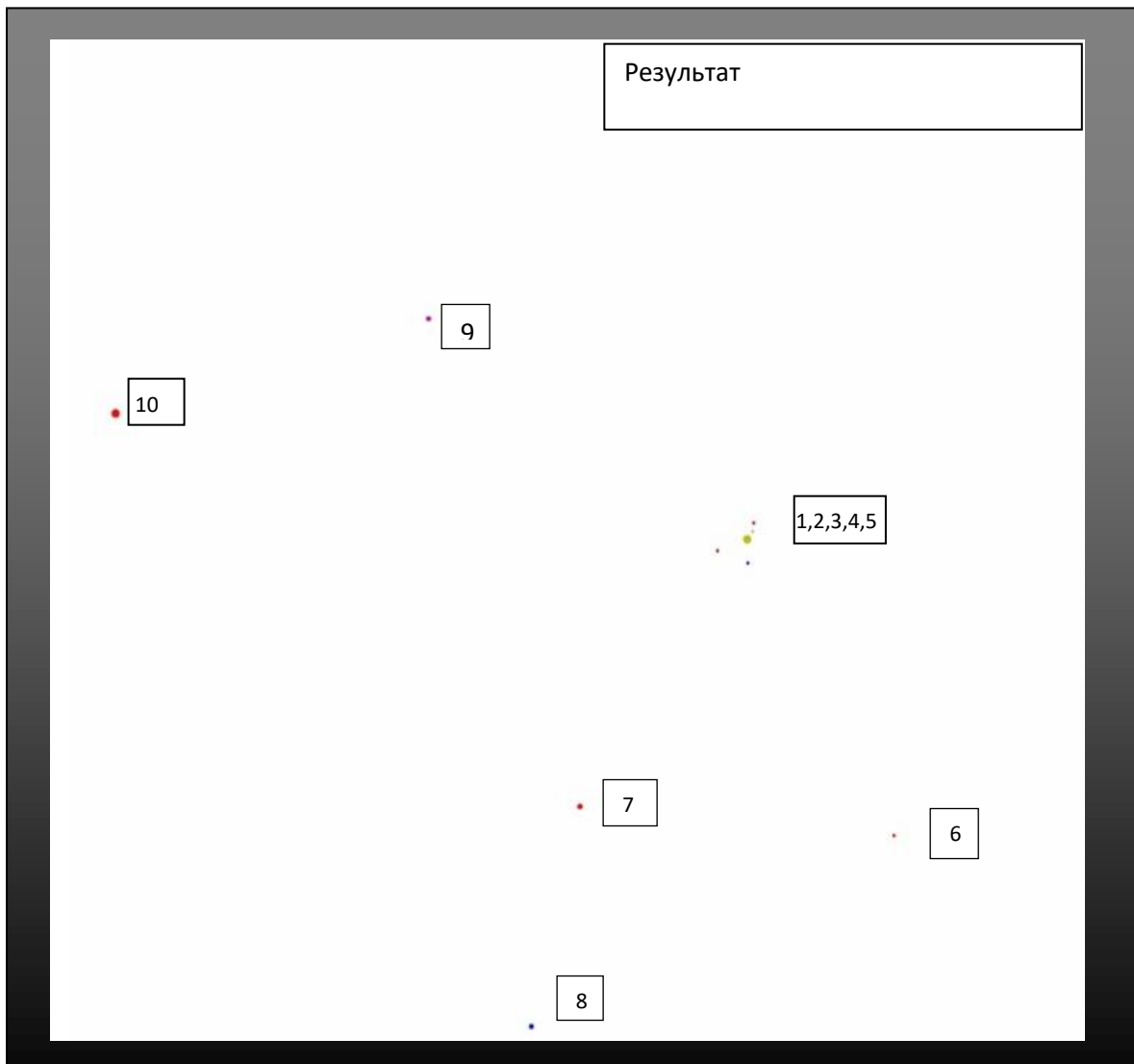
Начальные условия

Для решения поставленной задачи необходимо определить следующие начальные условия: координаты Солнца, координаты и скорости планет Солнечной системы, координаты и скорость Загадочной звезды. При этом зададим такие параметры движения и массу пролетающей звезды в $1/10$ от массы Солнца, чтобы её движение значительно повлияло на динамику планет Солнечной системы. Для упрощения моделирования будем считать орбиты планет круговыми.

Результаты моделирования

Рассмотрим два случая начального положения и скорости Загадочной звезды. В первом из них Солнце расположено в точке с условными координатами $X=0$ м, $Y=0$ м, а Загадочная звезда – $X=4,5 \cdot 10^{12}$ м, $Y=3 \cdot 10^{12}$ м. В результате моделирования для таких условий были получены следующие результаты (рис. 1,2):





Из приведённых рисунков хорошо видно, как в результате пролёта Загадочной звезды внешние планеты Солнечной системы сошли со своих изначальных орбит, тогда как планеты земной группы продолжили двигаться вокруг Солнца.

Рассмотрим теперь иной случай: Солнце расположено в точке $X=0$ м, $Y=0$ м, а Загадочная звезда – $X= -4,5 \cdot 10^{12}$ м, $Y=3 \cdot 10^{12}$ м (рис. 3,4).

Начальное расположение
космических тел

1 тело-Солнце

2 тело-Меркурий

3 тело-Венера

4 тело-Земля

5 тело-Марс

6 тело-Юпитер

7 тело- Сатурн

8 тело-Уран

9 тело- Нептун

10 тело-Загадочная звезда

10



1,2,3,4,5



6



7



8



9



Результат



Несмотря на схожесть полученного качественного результата (планеты-гиганты по-прежнему заметно изменили свои траектории, а планеты земной группы – нет), динамика внешних планет Солнечной системы существенно отличается от первого случая – в частности, можно отметить заметное сближение Сатурна и Урана.

Заключение

Выполненное исследование показало, что пролёт даже сравнительно небольшой звезды в непосредственной близости от Солнечной системы способен радикальным образом повлиять на динамику движения внешних планет системы. В то же время, планеты земной группы практически не почувствуют влияния пролетающего объекта, сохранив околокруговые траектории и характерные расстояния до Солнца. Дальнейшим развитием этой работы может стать моделирование практически любого движения гравитирующих тел, так как проведённая работа наглядно продемонстрировала возможности среды Python по численному решению уравнений, описывающих движение тел в гравитационно-

связанных системах. Наглядная иллюстрация полученных решений в виде анимация и рисунков позволяет легко использовать среду в образовательных и иллюстрационных целях.

Листинг кода решения задачи:

```
#Загадочная звезда

import numpy as np
from scipy.integrate import odeint
import matplotlib.pyplot as plt
from matplotlib.animation import ArtistAnimation

# Временные интервалы
seconds_in_year = 365 * 24 * 60 * 60
seconds_in_day = 24 * 60 * 60
years = 0.00001

# Определяем переменную величину
t = np.arange(0, years*seconds_in_year, 60*seconds_in_day)

# Определяем функцию для системы дифференциальных уравнений
def Planet(s, t):
    "Функция взаимного притяжения тел"

    (x1, v_x1, y1, v_y1, #координаты и скорость Меркурия
     x2, v_x2, y2, v_y2, #координаты и скорость Венеры
     x3, v_x3, y3, v_y3, #координаты и скорость Земли
     x4, v_x4, y4, v_y4, #координаты и скорость Марса
     x5, v_x5, y5, v_y5, #координаты и скорость Юпитера
     x6, v_x6, y6, v_y6, #координаты и скорость Сатурна
     x7, v_x7, y7, v_y7, #координаты и скорость Урана
     x8, v_x8, y8, v_y8, #координаты и скорость Нептуна
     x9, v_x9, y9, v_y9, #координаты и скорость Загадочной звезды
     x10, v_x10, y10, v_y10)=s#координаты и скорость Солнца

    #Движение первого тела под действием остальных тел
    dxdt1 = v_x1
    dv_xdt1 = - G * m2 * (x1 - x2) / ((x1 - x2)**2 + (y1 - y2)**2)**1.5\
    - G * m3 * (x1 - x3) / ((x1 - x3)**2 + (y1 - y3)**2)**1.5\
    - G * m4 * (x1 - x4) / ((x1 - x4)**2 + (y1 - y4)**2)**1.5\
    - G * m5 * (x1 - x5) / ((x1 - x5)**2 + (y1 - y5)**2)**1.5\
    - G * m6 * (x1 - x6) / ((x1 - x6)**2 + (y1 - y6)**2)**1.5\
    - G * m7 * (x1 - x7) / ((x1 - x7)**2 + (y1 - y7)**2)**1.5\
    - G * m8 * (x1 - x8) / ((x1 - x8)**2 + (y1 - y8)**2)**1.5\
    - G * m9 * (x1 - x9) / ((x1 - x9)**2 + (y1 - y9)**2)**1.5\
    - G * m10 * (x1 - x10) / ((x1 - x10)**2 + (y1 - y10)**2)**1.5

    dydt1 = v_y1
    dv_ydt1 = - G * m2 * (y1 - y2) / ((x1 - x2)**2 + (y1 - y2)**2)**1.5\
    - G * m3 * (y1 - y3) / ((x1 - x3)**2 + (y1 - y3)**2)**1.5\
    - G * m4 * (y1 - y4) / ((x1 - x4)**2 + (y1 - y4)**2)**1.5\
    - G * m5 * (y1 - y5) / ((x1 - x5)**2 + (y1 - y5)**2)**1.5\
    - G * m6 * (y1 - y6) / ((x1 - x6)**2 + (y1 - y6)**2)**1.5\
    - G * m7 * (y1 - y7) / ((x1 - x7)**2 + (y1 - y7)**2)**1.5\
    - G * m8 * (y1 - y8) / ((x1 - x8)**2 + (y1 - y8)**2)**1.5\
    - G * m9 * (y1 - y9) / ((x1 - x9)**2 + (y1 - y9)**2)**1.5\
    - G * m10 * (y1 - y10) / ((x1 - x10)**2 + (y1 - y10)**2)**1.5

    #Движение второго тела под действием остальных тел
    dxdt2 = v_x2
    dv_xdt2 = - G * m1 * (x2 - x1) / ((x2 - x1)**2 + (y2 - y1)**2)**1.5\
    - G * m3 * (x2 - x3) / ((x2 - x3)**2 + (y2 - y3)**2)**1.5\
    - G * m4 * (x2 - x4) / ((x2 - x4)**2 + (y2 - y4)**2)**1.5\
    - G * m5 * (x2 - x5) / ((x2 - x5)**2 + (y2 - y5)**2)**1.5\
    - G * m6 * (x2 - x6) / ((x2 - x6)**2 + (y2 - y6)**2)**1.5\
    - G * m7 * (x2 - x7) / ((x2 - x7)**2 + (y2 - y7)**2)**1.5\
    - G * m8 * (x2 - x8) / ((x2 - x8)**2 + (y2 - y8)**2)**1.5\
```

```
- G * m9 * (x2 - x9) / ((x2 - x9)**2 + (y2 - y9)**2)**1.5\  
- G * m10 * (x2 - x10) / ((x2 - x10)**2 + (y2 - y10)**2)**1.5
```

```
dydt2 = v_y2
```

```
dv_ydt2 = - G * m1 * (y2 - y1) / ((x2 - x1)**2 + (y2 - y1)**2)**1.5\  
- G * m3 * (y2 - y3) / ((x2 - x3)**2 + (y2 - y3)**2)**1.5\  
- G * m4 * (y2 - y4) / ((x2 - x4)**2 + (y2 - y4)**2)**1.5\  
- G * m5 * (y2 - y5) / ((x2 - x5)**2 + (y2 - y5)**2)**1.5\  
- G * m6 * (y2 - y6) / ((x2 - x6)**2 + (y2 - y6)**2)**1.5\  
- G * m7 * (y2 - y7) / ((x2 - x7)**2 + (y2 - y7)**2)**1.5\  
- G * m8 * (y2 - y8) / ((x2 - x8)**2 + (y2 - y8)**2)**1.5\  
- G * m9 * (y2 - y9) / ((x2 - x9)**2 + (y2 - y9)**2)**1.5\  
- G * m10 * (y2 - y10) / ((x2 - x10)**2 + (y2 - y10)**2)**1.5
```

```
#Движение третьего тела под действием остальных тел
```

```
dxdt3 = v_x3
```

```
dv_xdt3 = - G * m1 * (x3 - x1) / ((x3 - x1)**2 + (y3 - y1)**2)**1.5\  
- G * m2 * (x3 - x2) / ((x3 - x2)**2 + (y3 - y2)**2)**1.5\  
- G * m4 * (x3 - x4) / ((x3 - x4)**2 + (y3 - y4)**2)**1.5\  
- G * m5 * (x3 - x5) / ((x3 - x5)**2 + (y3 - y5)**2)**1.5\  
- G * m6 * (x3 - x6) / ((x3 - x6)**2 + (y3 - y6)**2)**1.5\  
- G * m7 * (x3 - x7) / ((x3 - x7)**2 + (y3 - y7)**2)**1.5\  
- G * m8 * (x3 - x8) / ((x3 - x8)**2 + (y3 - y8)**2)**1.5\  
- G * m9 * (x3 - x9) / ((x3 - x9)**2 + (y3 - y9)**2)**1.5\  
- G * m10 * (x3 - x10) / ((x3 - x10)**2 + (y3 - y10)**2)**1.5
```

```
dydt3 = v_y3
```

```
dv_ydt3 = - G * m1 * (y3 - y1) / ((x3 - x1)**2 + (y3 - y1)**2)**1.5\  
- G * m2 * (y3 - y2) / ((x3 - x2)**2 + (y3 - y2)**2)**1.5\  
- G * m4 * (y3 - y4) / ((x3 - x4)**2 + (y3 - y4)**2)**1.5\  
- G * m5 * (y3 - y5) / ((x3 - x5)**2 + (y3 - y5)**2)**1.5\  
- G * m6 * (y3 - y6) / ((x3 - x6)**2 + (y3 - y6)**2)**1.5\  
- G * m7 * (y3 - y7) / ((x3 - x7)**2 + (y3 - y7)**2)**1.5\  
- G * m8 * (y3 - y8) / ((x3 - x8)**2 + (y3 - y8)**2)**1.5\  
- G * m9 * (y3 - y9) / ((x3 - x9)**2 + (y3 - y9)**2)**1.5\  
- G * m10 * (y3 - y10) / ((x3 - x10)**2 + (y3 - y10)**2)**1.5
```

```
#Движение четвертого тела под действием остальных тел
```

```
dxdt4 = v_x4
```

```
dv_xdt4 = - G * m1 * (x4 - x1) / ((x4 - x1)**2 + (y4 - y1)**2)**1.5\  
- G * m2 * (x4 - x2) / ((x4 - x2)**2 + (y4 - y2)**2)**1.5\  
- G * m3 * (x4 - x3) / ((x4 - x3)**2 + (y4 - y3)**2)**1.5\  
- G * m3 * (y4 - y3) / ((x4 - x3)**2 + (y4 - y3)**2)**1.5\  
- G * m5 * (x4 - x5) / ((x4 - x5)**2 + (y4 - y5)**2)**1.5\  
- G * m6 * (x4 - x6) / ((x4 - x6)**2 + (y4 - y6)**2)**1.5\  
- G * m7 * (x4 - x7) / ((x4 - x7)**2 + (y4 - y7)**2)**1.5\  
- G * m8 * (x4 - x8) / ((x4 - x8)**2 + (y4 - y8)**2)**1.5\  
- G * m9 * (x4 - x9) / ((x4 - x9)**2 + (y4 - y9)**2)**1.5\  
- G * m10 * (x4 - x10) / ((x4 - x10)**2 + (y4 - y10)**2)**1.5
```

```
dydt4 = v_y4
```

```
dv_ydt4 = - G * m1 * (y4 - y1) / ((x4 - x1)**2 + (y4 - y1)**2)**1.5\  
- G * m2 * (y4 - y2) / ((x4 - x2)**2 + (y4 - y2)**2)**1.5\  
- G * m5 * (y4 - y5) / ((x4 - x5)**2 + (y4 - y5)**2)**1.5\  
- G * m6 * (y4 - y6) / ((x4 - x6)**2 + (y4 - y6)**2)**1.5\  
- G * m7 * (y4 - y7) / ((x4 - x7)**2 + (y4 - y7)**2)**1.5\  
- G * m8 * (y4 - y8) / ((x4 - x8)**2 + (y4 - y8)**2)**1.5\  
- G * m9 * (y4 - y9) / ((x4 - x9)**2 + (y4 - y9)**2)**1.5\  
- G * m10 * (y4 - y10) / ((x4 - x10)**2 + (y4 - y10)**2)**1.5
```

```
#Движение пятого тела под действием остальных тел
```

```
dxdt5 = v_x5
```

```
dv_xdt5 = - G * m1 * (x5 - x1) / ((x5 - x1)**2 + (y5 - y1)**2)**1.5\  
- G * m2 * (x5 - x2) / ((x5 - x2)**2 + (y5 - y2)**2)**1.5\  
- G * m3 * (x5 - x3) / ((x5 - x3)**2 + (y5 - y3)**2)**1.5\  
- G * m4 * (x5 - x4) / ((x5 - x4)**2 + (y5 - y4)**2)**1.5\  
- G * m6 * (x5 - x6) / ((x5 - x6)**2 + (y5 - y6)**2)**1.5\  
- G * m7 * (x5 - x7) / ((x5 - x7)**2 + (y5 - y7)**2)**1.5\  
- G * m8 * (x5 - x8) / ((x5 - x8)**2 + (y5 - y8)**2)**1.5\  
- G * m9 * (x5 - x9) / ((x5 - x9)**2 + (y5 - y9)**2)**1.5
```

```

- G * m10 * (x5 - x10) / ((x5 - x10)**2 + (y5 - y10)**2)**1.5
dydt5 = v_y5
dv_ydt5 = - G * m1 * (y5 - y1) / ((x5 - x1)**2 + (y5 - y1)**2)**1.5\
- G * m2 * (y5 - y2) / ((x5 - x2)**2 + (y5 - y2)**2)**1.5\
- G * m3 * (y5 - y3) / ((x5 - x3)**2 + (y5 - y3)**2)**1.5\
- G * m4 * (y5 - y4) / ((x5 - x4)**2 + (y5 - y4)**2)**1.5\
- G * m6 * (y5 - y6) / ((x5 - x6)**2 + (y5 - y6)**2)**1.5\
- G * m7 * (y5 - y7) / ((x5 - x7)**2 + (y5 - y7)**2)**1.5\
- G * m8 * (y5 - y8) / ((x5 - x8)**2 + (y5 - y8)**2)**1.5\
- G * m9 * (y5 - y9) / ((x5 - x9)**2 + (y5 - y9)**2)**1.5\
- G * m10 * (y5 - y10) / ((x5 - x10)**2 + (y5 - y10)**2)**1.5

```

#Движение шестого тела под действием остальных тел

```

dxdt6 = v_x6
dv_xdt6 = - G * m1 * (x6 - x1) / ((x6 - x1)**2 + (y6 - y1)**2)**1.5\
- G * m2 * (x6 - x2) / ((x6 - x2)**2 + (y6 - y2)**2)**1.5\
- G * m3 * (x6 - x3) / ((x6 - x3)**2 + (y6 - y3)**2)**1.5\
- G * m4 * (x6 - x4) / ((x6 - x4)**2 + (y6 - y4)**2)**1.5\
- G * m5 * (x6 - x5) / ((x6 - x5)**2 + (y6 - y5)**2)**1.5\
- G * m7 * (x6 - x7) / ((x6 - x7)**2 + (y6 - y7)**2)**1.5\
- G * m8 * (x6 - x8) / ((x6 - x8)**2 + (y6 - y8)**2)**1.5\
- G * m9 * (x6 - x9) / ((x6 - x9)**2 + (y6 - y9)**2)**1.5\
- G * m10 * (x6 - x10) / ((x6 - x10)**2 + (y6 - y10)**2)**1.5

```

```

dydt6 = v_y6
dv_ydt6 = - G * m1 * (y6 - y1) / ((x6 - x1)**2 + (y6 - y1)**2)**1.5\
- G * m2 * (y6 - y2) / ((x6 - x2)**2 + (y6 - y2)**2)**1.5\
- G * m3 * (y6 - y3) / ((x6 - x3)**2 + (y6 - y3)**2)**1.5\
- G * m4 * (y6 - y4) / ((x6 - x4)**2 + (y6 - y4)**2)**1.5\
- G * m5 * (y6 - y5) / ((x6 - x5)**2 + (y6 - y5)**2)**1.5\
- G * m7 * (y6 - y7) / ((x6 - x7)**2 + (y6 - y7)**2)**1.5\
- G * m8 * (y6 - y8) / ((x6 - x8)**2 + (y6 - y8)**2)**1.5\
- G * m9 * (y6 - y9) / ((x6 - x9)**2 + (y6 - y9)**2)**1.5\
- G * m10 * (y6 - y10) / ((x6 - x10)**2 + (y6 - y10)**2)**1.5

```

#Движение седьмого тела под действием остальных тел

```

dxdt7 = v_x7
dv_xdt7 = - G * m1 * (x7 - x1) / ((x7 - x1)**2 + (y7 - y1)**2)**1.5\
- G * m2 * (x7 - x2) / ((x7 - x2)**2 + (y7 - y2)**2)**1.5\
- G * m3 * (x7 - x3) / ((x7 - x3)**2 + (y7 - y3)**2)**1.5\
- G * m4 * (x7 - x4) / ((x7 - x4)**2 + (y7 - y4)**2)**1.5\
- G * m5 * (x7 - x5) / ((x7 - x5)**2 + (y7 - y5)**2)**1.5\
- G * m6 * (x7 - x6) / ((x7 - x6)**2 + (y7 - y6)**2)**1.5\
- G * m8 * (x7 - x8) / ((x7 - x8)**2 + (y7 - y8)**2)**1.5\
- G * m9 * (x7 - x9) / ((x7 - x9)**2 + (y7 - y9)**2)**1.5\
- G * m10 * (x7 - x10) / ((x7 - x10)**2 + (y7 - y10)**2)**1.5

```

```

dydt7 = v_y7
dv_ydt7 = - G * m1 * (y7 - y1) / ((x7 - x1)**2 + (y7 - y1)**2)**1.5\
- G * m2 * (y7 - y2) / ((x7 - x2)**2 + (y7 - y2)**2)**1.5\
- G * m3 * (y7 - y3) / ((x7 - x3)**2 + (y7 - y3)**2)**1.5\
- G * m4 * (y7 - y4) / ((x7 - x4)**2 + (y7 - y4)**2)**1.5\
- G * m5 * (y7 - y5) / ((x7 - x5)**2 + (y7 - y5)**2)**1.5\
- G * m6 * (y7 - y6) / ((x7 - x6)**2 + (y7 - y6)**2)**1.5\
- G * m8 * (y7 - y8) / ((x7 - x8)**2 + (y7 - y8)**2)**1.5\
- G * m9 * (y7 - y9) / ((x7 - x9)**2 + (y7 - y9)**2)**1.5\
- G * m10 * (y7 - y10) / ((x7 - x10)**2 + (y7 - y10)**2)**1.5

```

#Движение восьмого тела под действием остальных тел

```

dxdt8 = v_x8
dv_xdt8 = - G * m1 * (x8 - x1) / ((x8 - x1)**2 + (y8 - y1)**2)**1.5\
- G * m2 * (x8 - x2) / ((x8 - x2)**2 + (y8 - y2)**2)**1.5\
- G * m3 * (x8 - x3) / ((x8 - x3)**2 + (y8 - y3)**2)**1.5\
- G * m4 * (x8 - x4) / ((x8 - x4)**2 + (y8 - y4)**2)**1.5\
- G * m5 * (x8 - x5) / ((x8 - x5)**2 + (y8 - y5)**2)**1.5\
- G * m6 * (x8 - x6) / ((x8 - x6)**2 + (y8 - y6)**2)**1.5\
- G * m7 * (x8 - x7) / ((x8 - x7)**2 + (y8 - y7)**2)**1.5\
- G * m9 * (x8 - x9) / ((x8 - x9)**2 + (y8 - y9)**2)**1.5\
- G * m10 * (x8 - x10) / ((x8 - x10)**2 + (y8 - y10)**2)**1.5

```



```

dydt8 = v_y8
dv_ydt8 = - G * m1 * (y8 - y1) / ((x8 - x1)**2 + (y8 - y1)**2)**1.5\
- G * m2 * (y8 - y2) / ((x8 - x2)**2 + (y8 - y2)**2)**1.5\
- G * m3 * (y8 - y3) / ((x8 - x3)**2 + (y8 - y3)**2)**1.5\
- G * m4 * (y8 - y4) / ((x8 - x4)**2 + (y8 - y4)**2)**1.5\
- G * m5 * (y8 - y5) / ((x8 - x5)**2 + (y8 - y5)**2)**1.5\
- G * m6 * (y8 - y6) / ((x8 - x6)**2 + (y8 - y6)**2)**1.5\
- G * m7 * (y8 - y7) / ((x8 - x7)**2 + (y8 - y7)**2)**1.5\
- G * m9 * (y8 - y9) / ((x8 - x9)**2 + (y8 - y9)**2)**1.5\
- G * m10 * (y8 - y10) / ((x8 - x10)**2 + (y8 - y10)**2)**1.5

```

#Движение девятого тела под действием остальных тел

```

dxdt9 = v_x9
dv_xdt9 = - G * m1 * (x9 - x1) / ((x9 - x1)**2 + (y9 - y1)**2)**1.5\
- G * m2 * (x9 - x2) / ((x9 - x2)**2 + (y9 - y2)**2)**1.5\
- G * m3 * (x9 - x3) / ((x9 - x3)**2 + (y9 - y3)**2)**1.5\
- G * m4 * (x9 - x4) / ((x9 - x4)**2 + (y9 - y4)**2)**1.5\
- G * m5 * (x9 - x5) / ((x9 - x5)**2 + (y9 - y5)**2)**1.5\
- G * m6 * (x9 - x6) / ((x9 - x6)**2 + (y9 - y6)**2)**1.5\
- G * m7 * (x9 - x7) / ((x9 - x7)**2 + (y9 - y7)**2)**1.5\
- G * m8 * (x9 - x8) / ((x9 - x8)**2 + (y9 - y8)**2)**1.5\
- G * m10 * (x9 - x10) / ((x9 - x10)**2 + (y9 - y10)**2)**1.5

```

```

dydt9 = v_y9
dv_ydt9 = - G * m1 * (y9 - y1) / ((x9 - x1)**2 + (y9 - y1)**2)**1.5\
- G * m2 * (y9 - y2) / ((x9 - x2)**2 + (y9 - y2)**2)**1.5\
- G * m3 * (y9 - y3) / ((x9 - x3)**2 + (y9 - y3)**2)**1.5\
- G * m4 * (y9 - y4) / ((x9 - x4)**2 + (y9 - y4)**2)**1.5\
- G * m5 * (y9 - y5) / ((x9 - x5)**2 + (y9 - y5)**2)**1.5\
- G * m6 * (y9 - y6) / ((x9 - x6)**2 + (y9 - y6)**2)**1.5\
- G * m7 * (y9 - y7) / ((x9 - x7)**2 + (y9 - y7)**2)**1.5\
- G * m8 * (y9 - y8) / ((x9 - x8)**2 + (y9 - y8)**2)**1.5\
- G * m10 * (y9 - y10) / ((x9 - x10)**2 + (y9 - y10)**2)**1.5

```

#Движение десятого тела под действием остальных тел

```

dxdt10 = v_x10
dv_xdt10 = - G * m1 * (x10 - x1) / ((x10 - x1)**2 + (y10 - y1)**2)**1.5\
- G * m2 * (x10 - x2) / ((x10 - x2)**2 + (y10 - y2)**2)**1.5\
- G * m3 * (x10 - x3) / ((x10 - x3)**2 + (y10 - y3)**2)**1.5\
- G * m4 * (x10 - x4) / ((x10 - x4)**2 + (y10 - y4)**2)**1.5\
- G * m5 * (x10 - x5) / ((x10 - x5)**2 + (y10 - y5)**2)**1.5\
- G * m6 * (x10 - x6) / ((x10 - x6)**2 + (y10 - y6)**2)**1.5\
- G * m7 * (x10 - x7) / ((x10 - x7)**2 + (y10 - y7)**2)**1.5\
- G * m8 * (x10 - x8) / ((x10 - x8)**2 + (y10 - y8)**2)**1.5\
- G * m9 * (x10 - x9) / ((x10 - x9)**2 + (y10 - y9)**2)**1.5

```

```

dydt10 = v_y10
dv_ydt10 = - G * m1 * (y10 - y1) / ((x10 - x1)**2 + (y10 - y1)**2)**1.5\
- G * m2 * (y10 - y2) / ((x10 - x2)**2 + (y10 - y2)**2)**1.5\
- G * m3 * (y10 - y3) / ((x10 - x3)**2 + (y10 - y3)**2)**1.5\
- G * m4 * (y10 - y4) / ((x10 - x4)**2 + (y10 - y4)**2)**1.5\
- G * m5 * (y10 - y5) / ((x10 - x5)**2 + (y10 - y5)**2)**1.5\
- G * m6 * (y10 - y6) / ((x10 - x6)**2 + (y10 - y6)**2)**1.5\
- G * m7 * (y10 - y7) / ((x10 - x7)**2 + (y10 - y7)**2)**1.5\
- G * m8 * (y10 - y8) / ((x10 - x8)**2 + (y10 - y8)**2)**1.5\
- G * m9 * (y10 - y9) / ((x10 - x9)**2 + (y10 - y9)**2)**1.5

```

```

return (dxdt1, dv_xdt1, dydt1, dv_ydt1,
        dxdt2, dv_xdt2, dydt2, dv_ydt2,
        dxdt3, dv_xdt3, dydt3, dv_ydt3,
        dxdt4, dv_xdt4, dydt4, dv_ydt4,

```

```

dxdt5, dv_xdt5, dydt5, dv_ydt5,
dxdt6, dv_xdt6, dydt6, dv_ydt6,
dxdt7, dv_xdt7, dydt7, dv_ydt7,
dxdt8, dv_xdt8, dydt8, dv_ydt8,
dxdt9, dv_xdt9, dydt9, dv_ydt9,
dxdt10, dv_xdt10, dydt10, dv_ydt10,)
#1 тело-Меркурий
#2 тело-Венера
#3 тело-Земля
#4 тело-Марс
#5 тело-Юпитер
#6 тело-Сатурн
#7 тело-Уран
#8 тело -Нептун
#9 тело-Загадочная звезда
#10 тело-Солнце

```

```

# Определяем начальные значения и параметры

```

```

x10 = 59*10**9
v_x10 = 0
y10 = 0
v_y10 = 48748

```

```

x20 = 108*10**9
v_x20 = 0
y20 = 0
v_y20 = 34833

```

```

x30=149.6*10**9
v_x30=0
y30=0
v_y30= 28850

```

```

x40=228*10**9
v_x40=0
y40=0
v_y40=24133

```

```

x50=778.5*10**9
v_x50=0
y50=0
v_y50=13059

```

```

x60=1.43*10**12
v_x60=0
y60=0
v_y60=9658

```

```

x70=2.87*10**12
v_x70=0
y70=0
v_y70=6792

```

```

x80=4.5*10**12
v_x80=0
y80=0
v_y80=4500

```

```

x90=4.5*10**12
v_x90=3000
y90=3*10**12
v_y90=0

```

```

x100=0
v_x100=0
y100=0
v_y100=0

```

```

s0 = (x10, v_x10, y10, v_y10,
      x20, v_x20, y20, v_y20,
      x30, v_x30, y30, v_y30,
      x40, v_x40, y40, v_y40,
      x50, v_x50, y50, v_y50,
      x60, v_x60, y60, v_y60,
      x70, v_x70, y70, v_y70,

```

```
x80, v_x80, y80, v_y80,  
x90, v_x90, y90, v_y90,  
x100, v_x100, y100, v_y100,)
```

```
m1 = 3.3*10**23  
m2 = 4.9*10**24  
m3 = 6*10**24  
m4 = 6.4*10**23  
m5 = 1.9*10**27  
m6 = 5.7*10**26  
m7 = 8.7*10**25  
m8 = 10**26  
m9 = 2*10**29  
m10 = 2*10**30  
G = 6.67 * 10**(-11)
```

```
#Решение системы дифференциальных уравнений  
sol = odeint(Planet, s0, t)
```

```
#Анимация движения тел  
fig = plt.figure(figsize=(30,30), dpi=100)
```

```
bodys = []
```

```
for i in range(0, len(t), 1):  
    body1, = plt.plot(sol[i, 0], sol[i, 2], 'o', color='peru', ms=3)  
  
    body2, = plt.plot(sol[i, 4], sol[i, 6], 'o', color='r', ms=4)  
  
    body3, = plt.plot(sol[i, 8], sol[i, 10], 'o', color='b', ms=4)  
  
    body4, = plt.plot(sol[i, 12], sol[i, 14], 'o', color='r',ms=4)  
  
    body5, = plt.plot(sol[i, 16], sol[i, 18], 'o', color='r', ms= 5.5)  
  
    body6, = plt.plot(sol[i, 20], sol[i, 22], 'o', color='r', ms=5)  
  
    body7, = plt.plot(sol[i, 24], sol[i, 26], 'o', color='b', ms=5)  
  
    body8, = plt.plot(sol[i, 28], sol[i, 30], 'o', color='m', ms=5)  
  
    body9, = plt.plot(sol[i, 32], sol[i, 34], 'o', color='r', ms=14)  
  
    body10, = plt.plot(sol[i, 36], sol[i, 38], 'o', color='y', ms=14)
```

```
bodys.append([body1, body2, body3, body4, body5, body6, body7, body8, body9, body10])
```

```
ani = ArtistAnimation(fig, bodys, interval=0.15 )
```

```
ani.save('Загадочная звезда .gif')  
plt.show()
```