

Гравитационный манёвр

Работу выполнили: К.С. Галиченко

К.И. Сидоренко

Научный руководитель: А.С. Байгашов

Аннотация

Работа посвящена моделированию межпланетного перелета спутника «Вояджер-2» с Земли на Уран, при помощи гравитационного манёвра вблизи Юпитера. Получен алгоритм на языке программирования Python 3, численно решающий поставленную задачу.

Введение

Межпланетные перелеты крайне актуальная область в современной космонавтике и небесной механике. Начатые еще в прошлом веке перелеты к другим телам Солнечной системы все с большим размахом продолжаются и по сегодняшнее время. Одной из важных особенностей межпланетного перелета являются гравитационные маневры.

Гравитационный манёвр — целенаправленное изменение траектории полёта космического аппарата под действием гравитационных полей небесных тел. Гравитационный манёвр около движущегося по орбите массивного небесного тела — планеты или крупного естественного спутника планеты — позволяет изменить кинетическую энергию космического аппарата без затрат топлива. Таким образом, гравитационный манёвр является «бесплатным» и эффективным способом разгона, торможения или изменения направления движения космических аппаратов в целях исследования всей Солнечной системы и выхода за её пределы при существующих ракетных технологиях.

Таким образом, цель проекта заключается в применении полученных в процессе обучения математическому моделированию навыков и создание модели межпланетного перелета спутника «Вояджер-2» к газовому гиганту - Урану, при помощи гравитационного манёвра вблизи Юпитера.

Для этого необходимо решить следующие задачи:

- Определить уравнение, моделирующее гравитационное взаимодействие объектов в дифференциальной форме;
- Определить начальные условия для планет и спутника;
- Написать алгоритм на языке программирования Python 3, наглядно демонстрирующий перелет.

Постановка задачи

Гравитационное взаимодействие в рамках Солнечной системы с очень хорошей точностью описывается законом Всемирного тяготения. Дифференциальный вид закона Всемирного тяготения имеет следующий вид:

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

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

Где: M_1 – масса первого объекта, M_2 – масса второго объекта,
 $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{м}^3}{\text{кг} \cdot \text{с}^2}$ – гравитационная постоянная,
 t – время,
 x_1, y_1 – координаты первого объекта,
 x_2, y_2 – координаты второго объекта

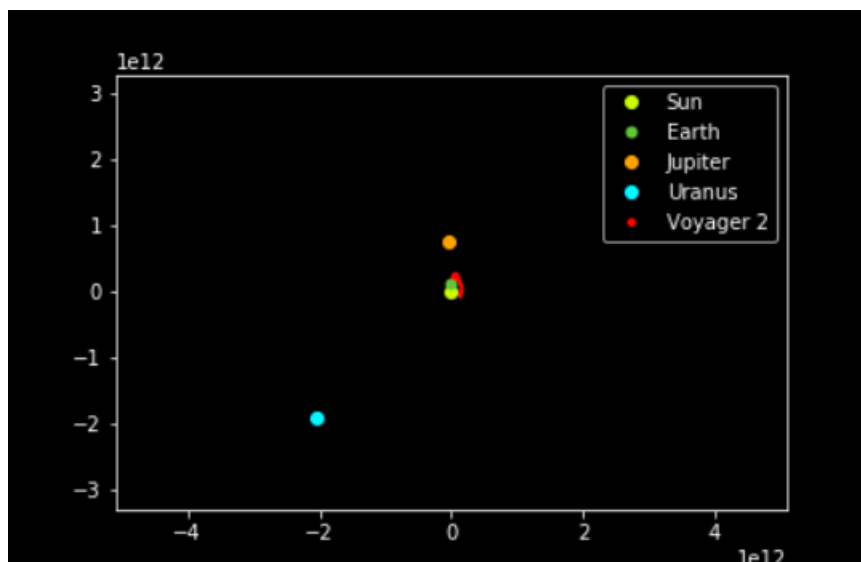
Начальные условия и параметры

Для решения поставленной задачи необходимо определить следующие начальные условия. Поскольку все параметры орбиты Вояджера-2 известны, они были взяты в качестве начальных условий из открытого источника (<https://ssd.jpl.nasa.gov/horizons.cgi>):

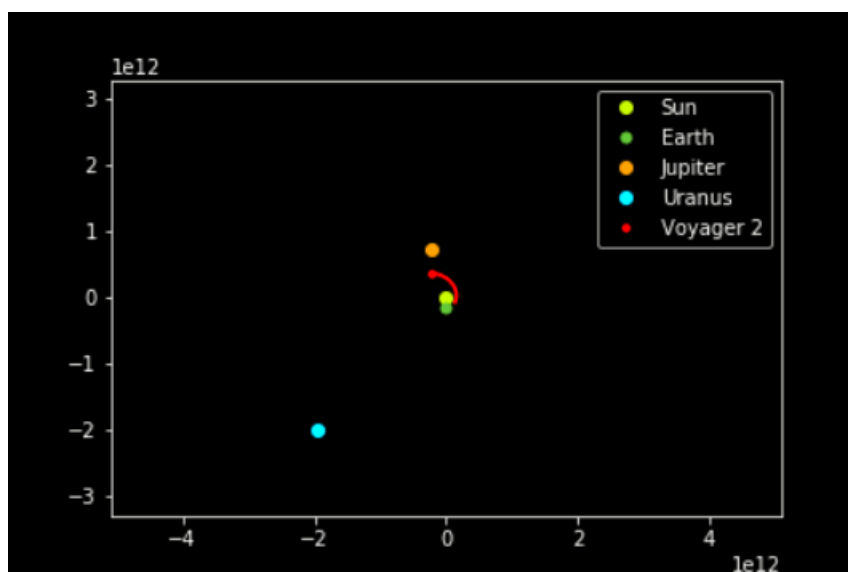
Объект	X_0	Y_0	V_{X0}	V_{Y0}
Солнце	3.4074E+08	-6.578E+08	1.392E+01	-1.896E-01
Земля	1.338E+11	-7.164E+10	1.3501E+04	2.619E+04
Юпитер	1.1862E+11	7.521E+11	-1.306E+04	2.639E+03
Уран	-2.08113E+11 2	-1.844E+12	4.466E+03	-5.415E+03
Спутник «Вояджер-2 »	1.3475E+11	-6.812E+10	1.585E+04	3.549E+04

Результаты моделирования

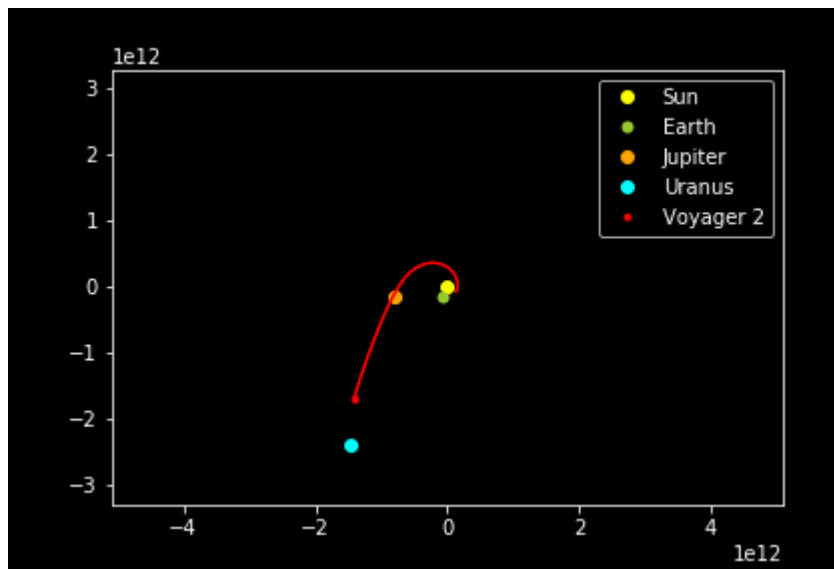
В результате численного моделирования были получены следующие результаты:



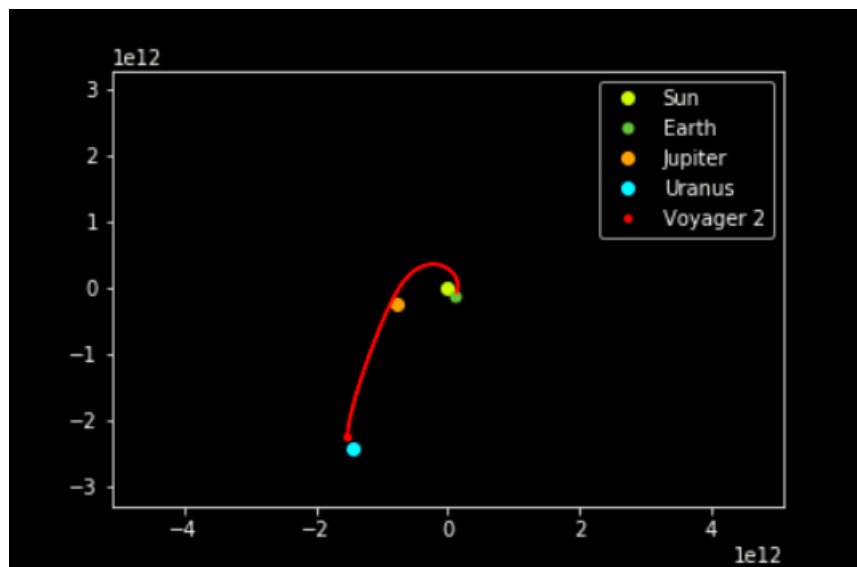
Начало полёта Спутника



Подлёт Меркурия к Спутнику



Полёт Спутника



Подлёт к Урану

Заключение и перспективы

В рамках работы была достигнута основная цель: применены полученные навыки по математическому моделированию на языке программирования Python для моделирования межпланетного перелета спутника «Вояджер-2» Урану, при помощи гравитационного манёвра вблизи Юпитера.

Были решены все поставленные задачи:

- Определены и записаны уравнения, моделирующие гравитационное взаимодействие объектов в дифференциальной форме;
- Определены начальные условия для планет и спутника;
- Написан алгоритм на языке программирования Python 3, наглядно демонстрирующий перелет.

Данная работа сделана с целью дальнейшего развития. В ближайшей перспективе планируется учёт многократных импульсов, а также создание игрового приложения.