



*Московский авиационный институт
(Национальный исследовательский университет)*

*Дипломная работа
на тему*

ПОСТРОЕНИЕ МАРШРУТА КОСМИЧЕСКОГО КОРАБЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭФФЕКТА ОБЕРТА

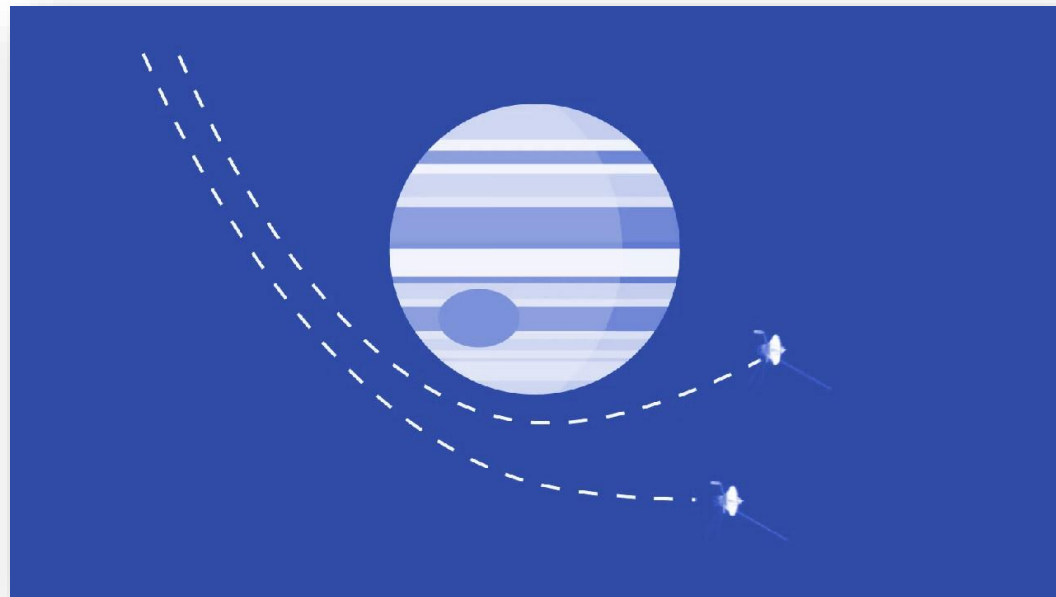
Руководитель: к.ф.-м.н., нет, доцент каф. 802 МАИ
Беличенко Михаил Валериевич
Студент группы М80-409Б-18:
Михеев Кирилл Вячеславович

Москва, 2022



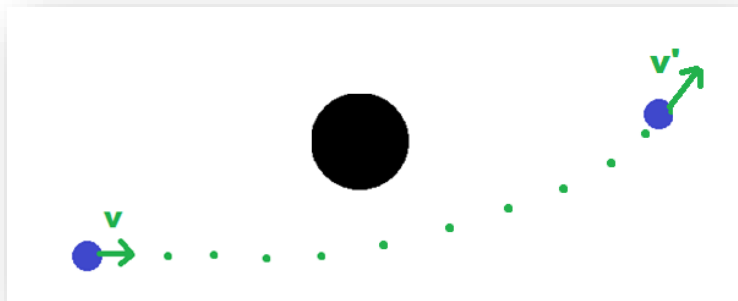
Проблема

- **Изучение** солнечной системы на дальних расстояниях
- Поиск **эффективных** маршрутов
- **Оптимизация** затрат топлива
- Получение **максимальных скоростей** на траекториях движения спутников



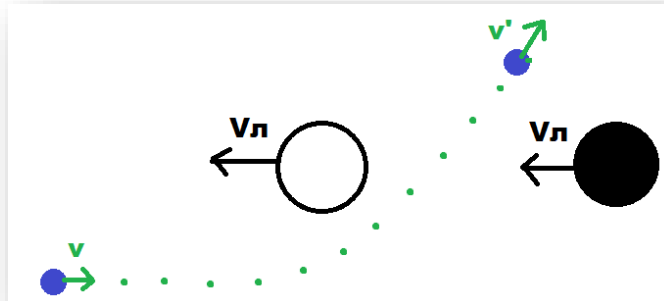


Эффект Оберта



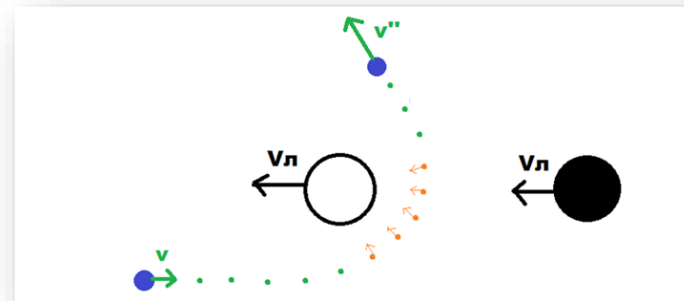
- Планета без движения
- Спутник пролетает рядом

Финальная скорость **изменила**
направление



- Планета движется
- Спутник пролетает рядом

Финальная скорость **может**
быть увеличена за счёт
орбитального импульса



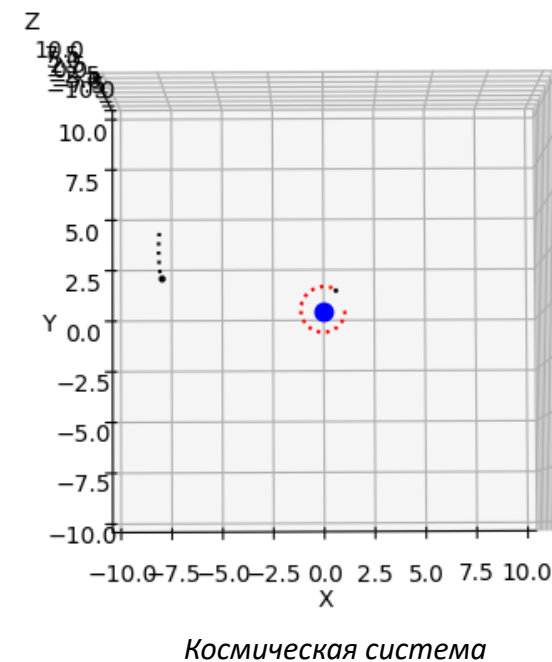
- Планета движется
- Спутник включает двигатель в
ближайшей к Луне точке

Финальная скорость **значительно**
увеличена за счёт **орбитального**
импульса и эффекта Оберта



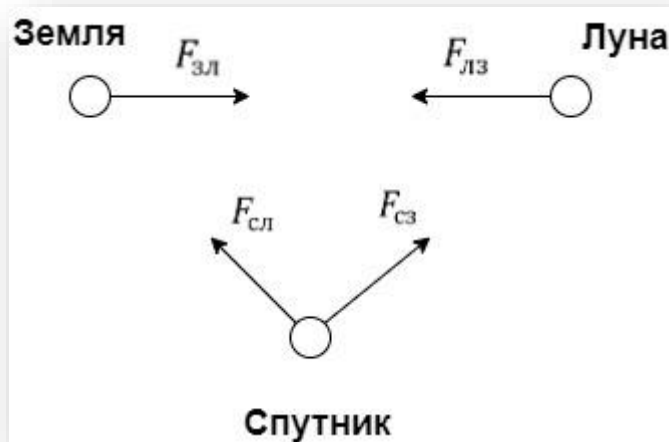
Три стратегии ухода с орбиты:

- С помощью **двигателей**
- С добавлением **гравитационного маневра**
- С добавлением **гравитационного маневра** и с использованием **эффекта Оберта**





Уравнения движения



Симуляция космической системы

(Масса спутника \ll массы Земли или Луны)

Сила притяжения каждого тела друг к другу определяется следующей формулой:

$$\vec{F}_{ij} = \frac{\gamma m_i m_j (\vec{r}_j - \vec{r}_i)}{|\vec{r}_j - \vec{r}_i|^3}$$

Для нахождения **ускорений** воспользуемся вторым законом Ньютона:

$$m_i \bar{w}_i = \sum_j \frac{\gamma m_i m_j * (\vec{r}_j - \vec{r}_i)}{|\vec{r}_j - \vec{r}_i|^3}$$

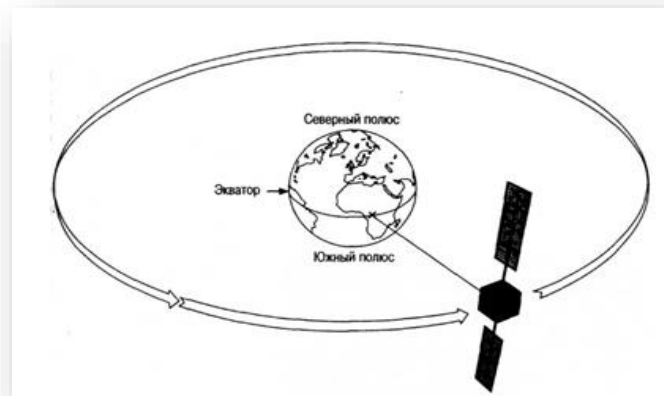
Выражаем через X и Y:

$$\frac{d^2}{dt^2} x_i(t) = \sum_{j=1}^n \frac{\gamma m_j (x_j - x_i)}{((x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2)^{3/2}}$$

$$\frac{d^2}{dt^2} y_i(t) = \sum_{j=1}^n \frac{\gamma m_j (y_j - y_i)}{((x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2)^{3/2}}$$



1. Спутник стартует с **геостационарной орбиты**
2. Используются **безразмерные** параметры и уравнения движения
3. **Силу** двигателя считаем **константой** равной 0.01.
4. При выходе с орбиты Земли двигатель работает **вдоль вектора скорости** космического аппарата



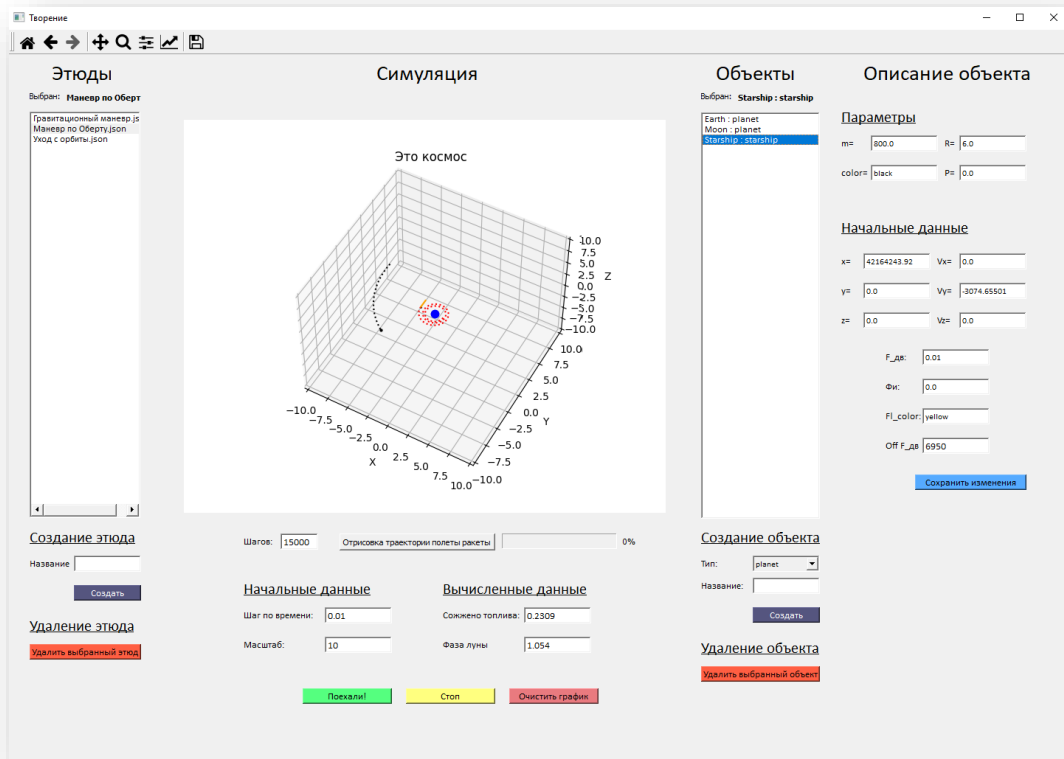
Геостационарная орбита

$$R_0 = 4.216e7, \quad \Omega = \frac{2 * \pi}{286164,091}$$

Значения радиуса орбиты и омеги для получения безразмерных величин



Разработка приложения



Разработанное программное обеспечение

Возможности

- **Управление над созданием этюдов, управление над объектами.**
Настройка начальных данных симуляции: шаг интегрирования, масштаб
- **Ввод начальных данных для небесных тел:**
 - Начальные координаты
 - Масса тела
 - Скорость движения
 - Радиус объекта
 - Сила двигателя (для спутника)
 - Фаза старта Луны
- **Запуск в двух режимах:** быстрая отрисовка траектории спутника, полная симуляция с анимацией движения космических тел



Моделирование этюдов. Первый

Выход с орбиты при помощи двигателя

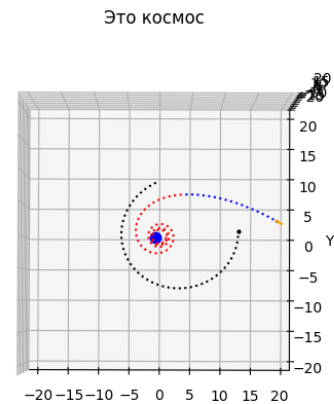
Результаты:

- Финальная скорость: **0.1852**
- Затрачено топлива: **1.44308**

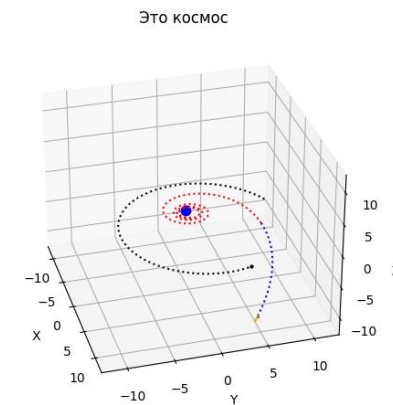
Качество каждого этюда определяется по финальной скорости на расстоянии Земли

$$r = \frac{\sqrt{R_O^2 * 1000}}{R_O} = 31.6$$

Дистанция фиксации финальной скорости



Вид сверху



Вид сбоку

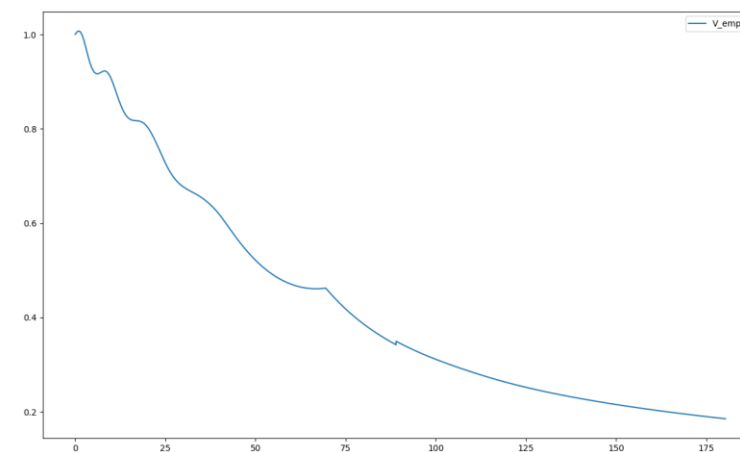


График изменения скорости спутника



Моделирование этюдов. Второй

Использование гравитационного маневра. Ищем фазу Луны и учитываем компенсацию топлива.

Результаты:

- Финальная скорость: **0.4464**
- Затрачено топлива: **1.44308**

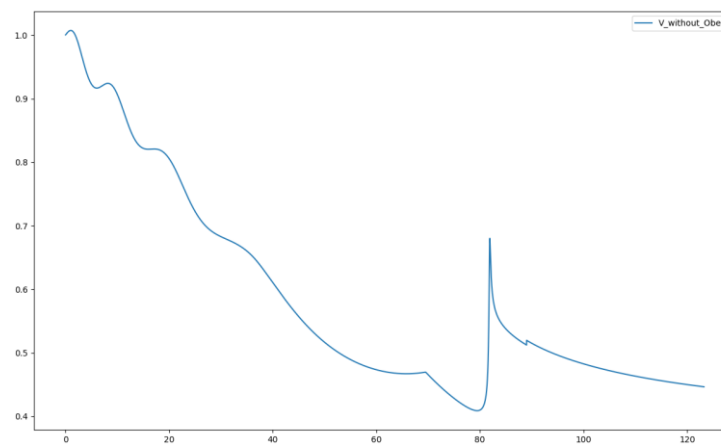
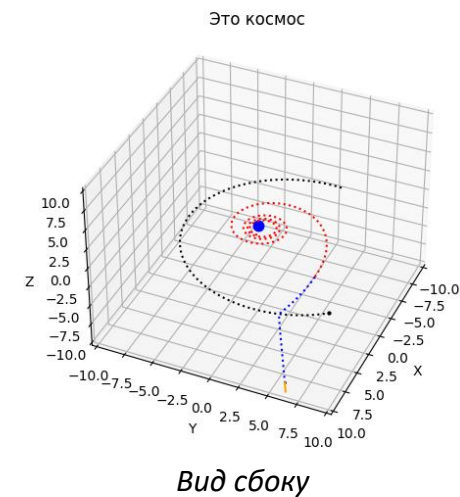
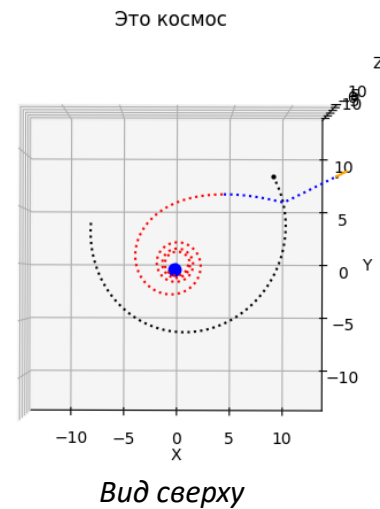
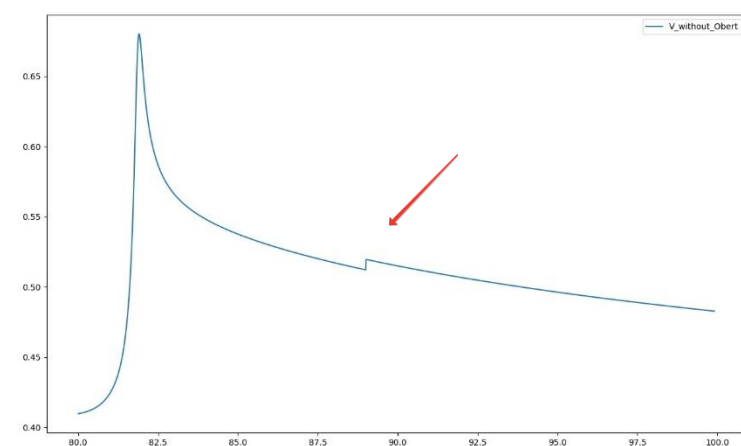


График изменения скорости спутника



Дополнительная скорость



Моделирование этюдов. Третий

Использование гравитационного маневра с эффектом Оберта. Ищем угол с максимальной скоростью.

Результаты:

- Финальная скорость: **0.4759**
- Затрачено топлива: **1.44308**

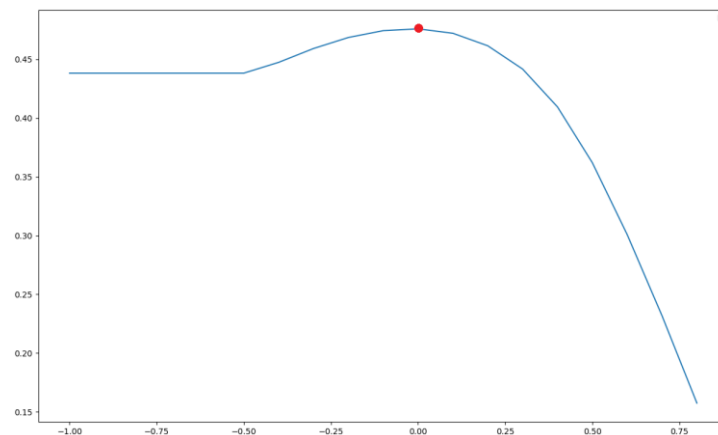
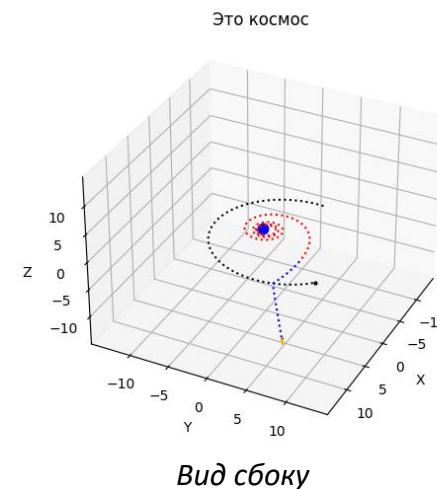
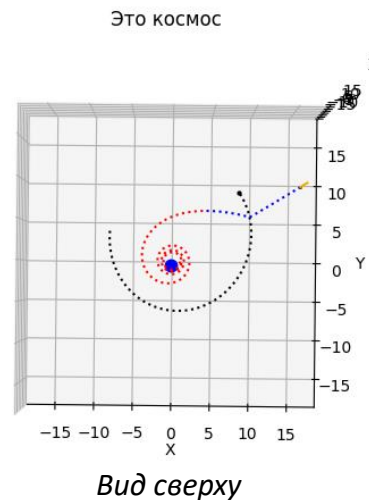


График зависимости угла и финальной скорости

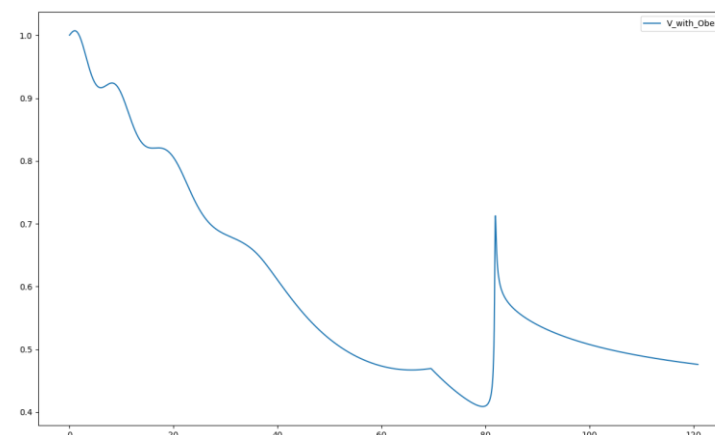


График изменения скорости спутника



Сравнение результатов

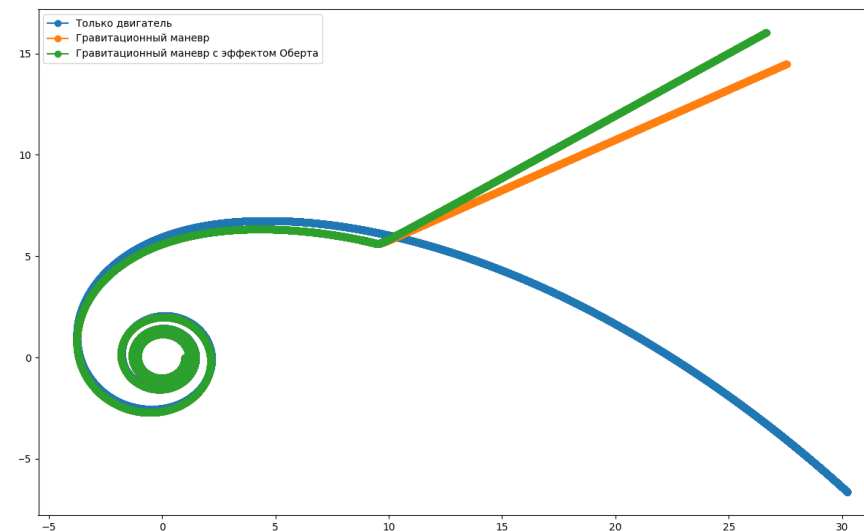
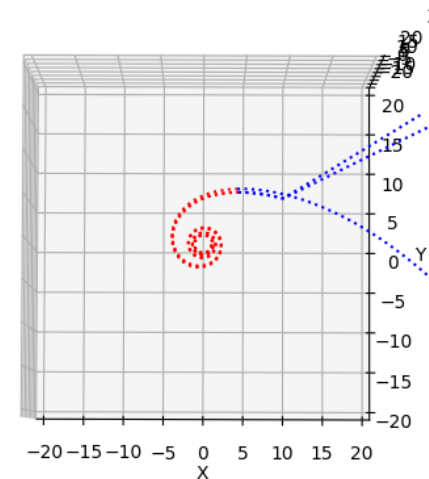
Этюд	Скорость	Затрачено топлива
Первый	0.1852	1.44308
Второй	0.4464	1.44308
Третий	0.4759	1.44308

Таблица скоростей

Эффективность

Второй эффективнее первого в: $0.4464/0.1852 = \mathbf{2.41}$ раза

Третий эффективнее второго в: $0.4759/0.4464 = \mathbf{1.06}$ раза

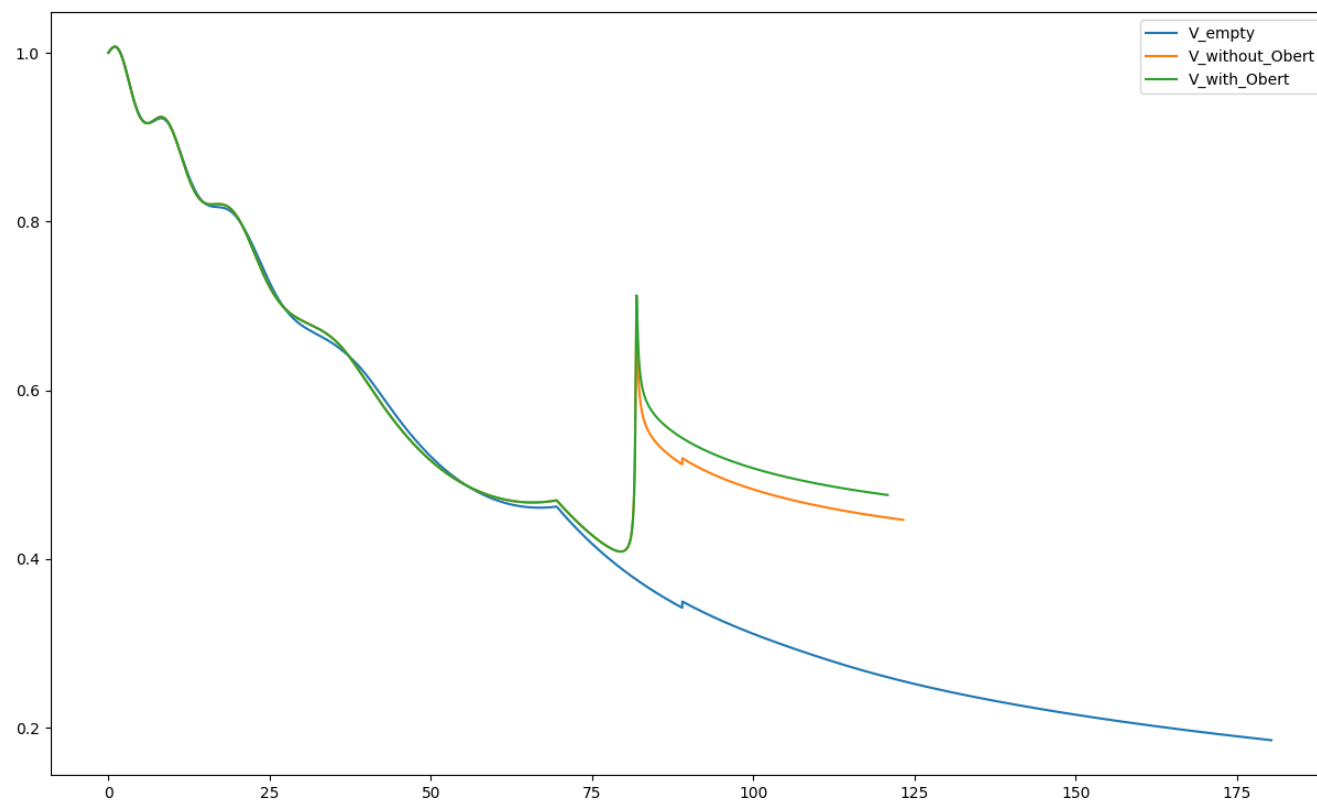


Траектории 3-х этюдов



Заклучение

По итогу получаем, что при одинаковой затрате топлива, **скорость** при использовании гравитационного маневра **с эффектом Оберта** выше. Следовательно его использование **эффективнее**.



Изменение скоростей 3-х этюдов



Спасибо за внимание!