

САМАРСКИЙ ДВОРЕЦ ДЕТСКОГО И ЮНОШЕСКОГО ТВОРЧЕСТВА  
САМАРСКАЯ ОБЛАСТНАЯ АСТРОНОМИЧЕСКАЯ ШКОЛА

Конкурс научно-исследовательских работ по астрономии,  
астрофизике и космонавтике среди учащихся 8-11-х классов

**НЕРЕЛЯТИВИСТСКАЯ 2D-МОДЕЛЬ  
ГРАВИТАЦИОННОГО МАНЕВРА СФЕРИЧЕСКОГО ТЕЛА  
В ГРАВИТАЦИОННОМ ПОЛЕ КЛАССИЧЕСКОЙ ПЛАНЕТЫ**  
(научно-исследовательская работа)

Автор:

**Сабирова Мария**

учащаяся 11 класса

Название ОУ:

Самарский областной лицей

Научный руководитель:

**Филиппов Юрий Петрович,**

к.ф.-м.н., старший препода-  
ватель кафедры общей и  
теоретической физики  
Самарского государствен-  
ного университета

Самара, 2013 г.

# Оглавление

<b>Введение</b>	<b>2</b>
<b>1 Гравитационный маневр и общая задача двух тел</b>	<b>3</b>
1.1 Гравитационный маневр КА (небесного тела) . . . . .	3
1.2 Задача о движении двух точечных гравитирующих тел . . . . .	4
1.3 Нерелятивистская задача Кеплера . . . . .	4
<b>2 Нерелятивистская 2D-модель гравитационного маневра и решения поставленных задач</b>	<b>5</b>
2.1 Формулировка модели . . . . .	5
2.2 Движение КА в планетоцентрической СО . . . . .	5
2.3 Движение планеты и КА в гелиоцентрической СО . . . . .	5
2.4 Количественный анализ эффекта гравитационной пращи . . . . .	6
<b>Заключение</b>	<b>6</b>
<b>Литература</b>	<b>8</b>
<b>Приложения</b>	<b>10</b>
Приложение А. Некоторые физические свойства классических планет Солнечной системы . . . . .	10
Приложение В. Основные численные результаты работы . . . . .	11

# Введение

## Актуальность работы.

В связи со сказанным главной целью настоящей работы.....

Согласно сформулированной цели основными задачами являются следующие положения:

1. ....
2. ....
3. ....
4. ....

*Основными методами решения поставленных задач являются:*

1. ....
2. ....

# Глава 1

## Гравитационный маневр и общая задача двух тел

В настоящей главе будут кратко рассмотрены феномен гравитационного маневра ИСЗ в гравитационном поле классической планеты, общая задача двух тел и нерелятивистская задача Кеплера.

### 1.1 Гравитационный маневр КА (небесного тела)

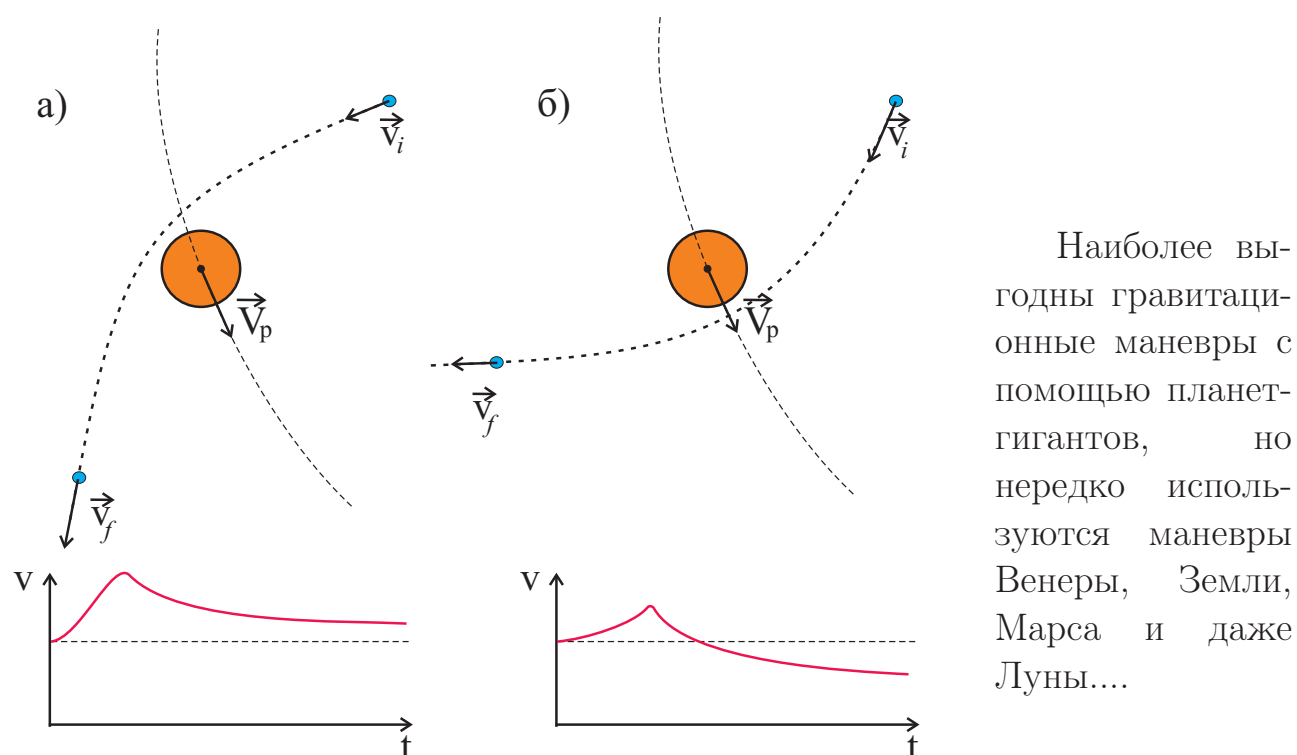


Рис. 1. Траектории движения и зависимость скорости КА от времени в гелиоцентрической системе отсчета в случае гравитационного маневра при а) ускорении тела, б) при его торможении.

## 1.2 Задача о движении двух точечных гравитирующих тел

## 1.3 Нерелятивистская задача Кеплера

Рассмотрим движение...

## Глава 2

# Нерелятивистская 2D-модель гравитационного маневра и решения поставленных задач

В данной главе будут представлена нерелятивистская 2D-модель гравитационного маневра КА и решения поставленных задач.

### 2.1 Формулировка модели

Физическую систему «Классическая планета Солнечной системы – космический аппарат» будем моделировать следующим образом:

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.
- 5.

### 2.2 Движение КА в планетоцентрической СО

### 2.3 Движение планеты и КА в гелиоцентрической СО

Выберем гелиоцентрическую систему координат...

## 2.4 Количественный анализ эффекта гравитационной пр- щи

# Заключение

Для достижения сформулированной цели в данной работе получены следующие основные результаты.

- В работе дан краткий обзор современных представлений о ....
- Сформулирована нерелятивистская *2D-модель гравитационного маневра*. В рамках последней выполнен количественный анализ движения КА в планетоцентрической системе отсчета....
- В работе выполнен последовательный *общий количественный анализ гравитационного маневра*: получено выражение для изменения гелиоцентрической скорости КА ....
- Решена задача определения условий реализации *эффекта гравитационной пращи*. ...

Теоретическая значимость полученных результатов заключается в ....  
Полученные результаты имеют огромную практическую важность:....



## Литература

- [1] Энциклопедия Космонавтика. – Гл. ред. В. П. Глушко. М.: Советская энциклопедия. – 1985. – 526с.
- [2] Интернет Энциклопедия Космонавтика: <http://www.cosmoworld.ru/spaceencyclopedia/>.
- [3] Маров М.Я. Планеты Солнечной системы. – М.: Наука. – 1981. – 256с.
- [4] Сурков Ю.А. Космические исследования планет и спутников. – М.: Наука. – 1985.
- [5] Шкловский И.С. Вселенная, жизнь, разум. - 5-е изд., перераб. и доп. - М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы. – 1980. – 352с.
- [6] Г.Н. Дубошин Небесная механика. Основные задачи и методы. – М.: Наука. – 1968. – 800с.
- [7] Маркеев А.П. Теоретическая механика: учебник для университетов. – Ижевск: изд-во РХД. – 2007.
- [8] Сивухин Д. В. Общий курс физики. – Изд. 5-е, стереотипное. – М.: ФИЗМАТЛИТ. – 2010. – Т.І. – Механика. – 560с.
- [9] Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике. - М.: Большая Медведица Элиста Джангар. – 1998. – 920с.
- [10] Незбайло Т.Г. Теория интегрирования линейных обыкновенных дифференциальных уравнений. – СПб.: ЧП Генкин А.Д. – 2007. – 160с.
- [11] Капустина Т.В. Компьютерная система Mathematica 3.0 для пользователей: справ. пособие. – М.: СОЛОН-Р. – 1999.
- [12] Воробьев Е.М. Введение в систему "Математика": Учеб. пособие. М: Финансы и статистика. – 1998.
- [13] IAU 2006 General Assembly: Result of the IAU Resolution votes. – [http://www.iau.org/public\\_press/news/detail/iau0603/](http://www.iau.org/public_press/news/detail/iau0603/)
- [14] Охоцимский Д.Е., Сихарулидзе Ю.Г. Основы механики космического полета. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит. – 1990. – 448с.

- [15] Куликовский П.Г. Справочник любителя астрономии. – М.: изд-во УРСС.  
– 2002. – 688с.
- [16] NASA. Lunar and planetary science. – <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/>.
- [17] Кононович Э.В., Мороз В.И. Общий курс астрономии. – М.: изд-во УРСС.  
– 2001. – 544с.

## **Приложение А. Некоторые физические свойства классических планет Солнечной системы**

Значения основных параметров планет взяты из работ [15, 16, 17].

## Приложение В. Основные численные результаты работы

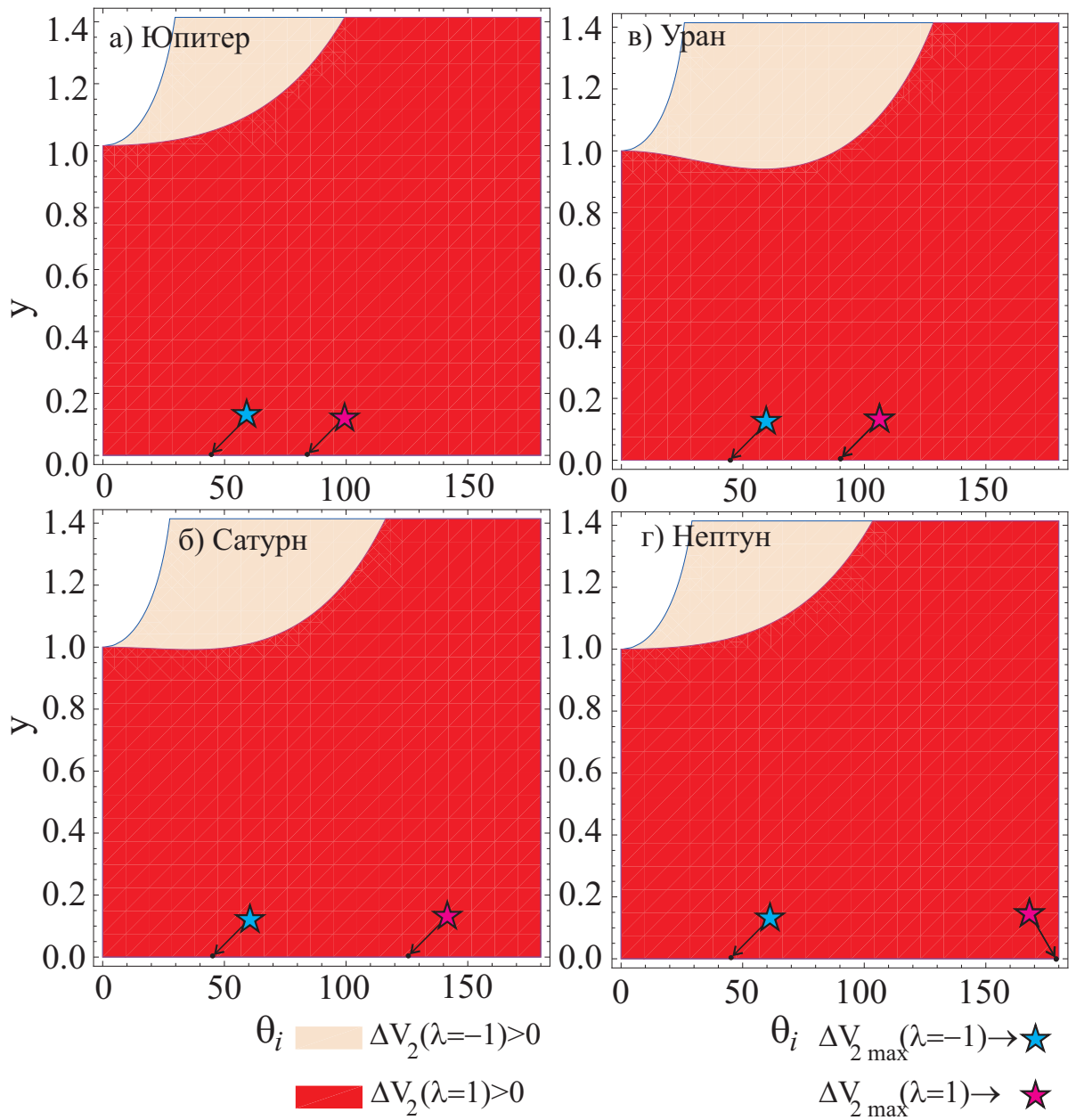


Рис. В.1. Области допустимых значений параметров  $(y, \theta_i)$ , для которых  $\Delta V_2(\lambda = \pm 1) > 0$  в случае планет-гигантов.

Таблица В.1

Планета	$\Delta V_2(\lambda = 1)$			
	$y_{\max}$	$\theta_{i \max}$ , град	$\Delta V_{2 \max}/V_1$	$\Delta V_{2 \max}$ , км/с
Меркурий	$5.863 \cdot 10^{-13}$	10.033	$7.917 \cdot 10^{-3}$	0.379
Венера	0.868	$6.750 \cdot 10^{-7}$	0.144	5.033
Земля	0.828	$2.717 \cdot 10^{-5}$	0.185	5.519
Марс	0.910	$4.368 \cdot 10^{-7}$	$9.936 \cdot 10^{-2}$	2.397
Юпитер	$8.636 \cdot 10^{-8}$	87.403	1.824	23.821
Сатурн	$8.628 \cdot 10^{-8}$	126.587	1.744	16.777
Уран	$4.218 \cdot 10^{-8}$	89.940	1.662	11.288
Нептун	$7.105 \cdot 10^{-8}$	179.142	1.807	9.810

Значения параметров  $\Delta V'_{2 \max}$ ,  $\theta'_{2 \max} = \theta'_2(V'_2 = V_I)$  для планет Солнечной системы.