

VI ежегодная научная конференция школьников  
Иркутской области «Человек и космос»

## **ЮПИТЕР И ЕГО СПУТНИКИ**

Автор:	Тельпуховский Николай Алексеевич 7 «а» класс СОШ №24 г. Иркутска
Научный руководитель:	Бубнова Татьяна Валентиновна инженер ИСЗФ СО РАН

г. Иркутск, 2016 г.

## Содержание:

Введение .....	3
Глава 1. Спутники Юпитера .....	4
1.1 Классификация спутников .....	5
1.2 Галилеевы спутники .....	6
Глава 2. Гравитационное взаимодействие .....	8
Глава 3. Расчет соотношения гравитационных сил .....	9
Заключение.....	11
Приложение 1.....	13
Список использованных источников .....	14

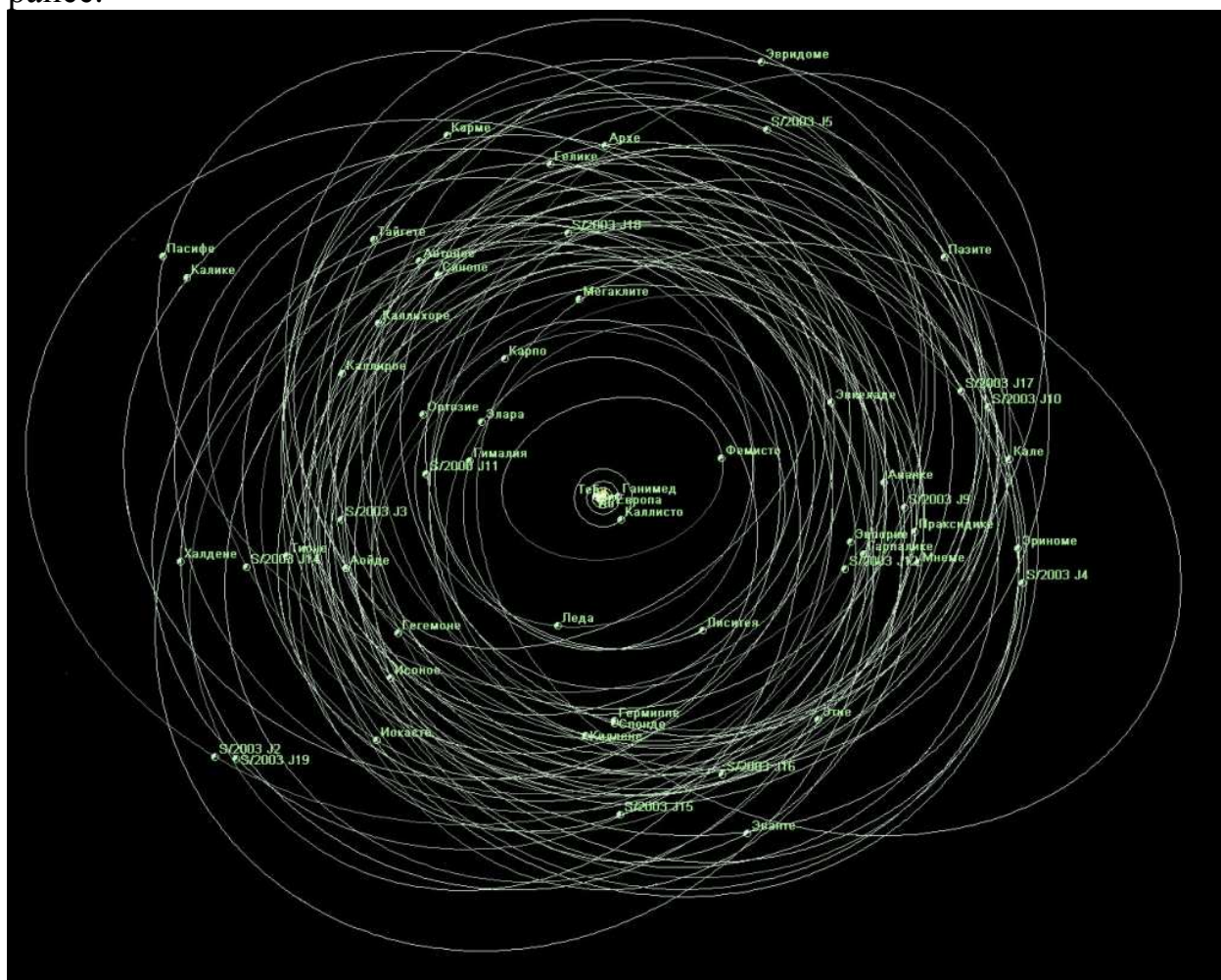
# Введение

Юпитер – газовый гигант, пятая планета от Солнца. Крупнейшее тело в Солнечной Системе после Солнца. Масштабы происходящих на этой планете атмосферных явлений на порядок превосходят земные. Таким образованием, например, является Большое Красное Пятно. У Юпитера очень сильное гравитационное поле и магнитосфера, отчего у него много спутников. Из-за своей массивности и разнообразности (в плане спутников) система «Юпитер – спутники» представляет огромный научный интерес. Если учитывать, что за 400 лет было обнаружено столько спутников, причём прогнозируется большее количество, то можно понять, как много ещё предстоит узнать об этой системе. Также Юпитер выделяет больше энергии, чем получает на 60%, но за счёт этого уменьшается примерно на 2 см в год. В этой работе мы проследили влияние Юпитера на его спутники, а также влияние Солнца. Почему также влияние Солнца? Всё просто. Солнце – центр масс Солнечной Системы, следовательно, объект с самым сильным гравитационным притяжением. Все мы знаем, как он действует на планеты, следующие за Солнцем. Но как Солнце действует на спутники? А как на них действует Юпитер?

Вот пример: если рассмотреть гравитационное воздействие Солнца на Луну Земли и сравнить с гравитационным воздействием Земли на Луну, то выйдет, что Солнце в 2,2 раза притягивает Луну сильнее, чем Земля. Может ли произойти также со спутниками Юпитера? И если нет, то почему? Мы проанализировали основные спутники Юпитера и проследили, что на них влияет и почему они такие. Также рассмотрели сам Юпитер. Перед тем, как проводить расчёты, проверка проводилась на системе Земля-Луна. Была написана программа в среде Turbo Pascal, рассчитывающая по формуле соотношение гравитационных воздействий Солнца и Юпитера на его Спутники. В качестве входных параметров задаются масса и расстояние некоего тела с целью посмотреть, как бы отразились гравитационные силы Юпитера и Солнца на нем. Я рад, что только начал изучать программирование и уже нашёл практическое применение своим навыкам.

# Глава 1. Спутники Юпитера

У Юпитера очень много спутников. Сейчас известно 67 (по данным на 2012 год), но некоторые ученые предполагают, что их число может достигать 100. Причем стоит отметить, что по состоянию на 1978 год было известно всего 13 спутников. В 1979 году космическим аппаратом “Вояджер-1” было открыто еще 3 спутника. Но самый большой прогресс в изучении лун Юпитера начался после 1999 года – за последние 17 лет было открыто 49 спутников, благодаря развитию наземных телескопов. Довольно важно то, что большинство из открытых тел имеет диаметр всего в 2-4 км и небольшую массу, чем схожи с астероидами. Потому и было трудно их зафиксировать ранее.



Также, важной особенностью является то, как присваивают названия спутникам. Если у спутника ретроградная орбита (т.е. движение спутника противоположно направлению прямого движения планеты), то название оканчивается на “е”. Например, спутник Карме, названный в честь мифологической Карме, матери критской богини Бритомартиды.

## 1.1 Классификация спутников

Всего насчитывается три группы спутников:

### 1. Главные спутники

Это самые большие спутники Юпитера. Ио, Европа, Ганимед и Каллисто, представляют наибольший интерес для изучения, так как намного превосходят по размерам все остальные спутники, а также очень близки к Юпитеру и образуют «правильную систему». Правильной системой считается такая система большого космического тела и окружающих его объектов, когда форма орбит почти круговая и орбиты спутников расположены в плоскости экватора планеты, вокруг которой они вращаются. Они открыты Галилео Галилеем еще в 1610 г., когда он рассматривал Юпитер в свой первый телескоп, поэтому их называют Галилеевыми спутниками.

### 2. Внутренние спутники

Группа спутников, расположенная ближе к Юпитеру, чем Галилеевы. Её представляют три совсем маленьких тела и Амальтея, у которой неправильная форма (примерно 130x80 км). Самые близкие спутники – Метида и Адрастея (Ближе к Юпитеру Метида) имеют такие же, как и у Галилеевых спутников, правильные орбиты. Они находятся вблизи от внешнего края колец Юпитера. Возможно, эти кольца получили свою массу благодаря вулканам Ио, которые выбрасывают вещество, попадающее на поверхность внутренних спутников. От ударов метеоритов, эта субстанция превращается в пыль и улетает в прилегающее космическое пространство, где, в свою очередь, Юпитер захватывает пыль и формирует из неё кольца.

### 3. Внешние спутники

Самая многочисленная группа спутников. В основном состоит из тел малой массы и размеров (несколько километров), но есть и несколько более крупных (диаметр самого большого – 170 км). Большая часть из них имеет неправильную форму, различные наклоны к плоскости экватора и эллиптические орбиты.

## 1.2. Галилеевы спутники

Табл.1 Параметры Галилеевых спутников

	Спутники			
	Ио	Европа	Ганимед	Каллисто
Расстояние от центра Юпитера				
в тыс. км	422	671	1070	1880
Орбитальный период, сутки	1,77	3,55	7,16	16,69
Масса, $10^{23}$ кг	0,892	0,487	1,490	1,065
Радиус, км	1820	1565	2610	2420
Средняя плотность, г/см <sup>3</sup>	3,53	3,03	1,93	1,79
Доля льдов по массе, % *	0	8,4	42,5	50

Очень интересно то, как соотносятся периоды вращения спутников по орбитам – 1:2:4:8. Такое соотношение является следствием резонанса. Также они очень похожи по своему составу и внутреннему строению на планеты земной группы. Правда, их масса меньше самой маленькой из больших планет – Меркурию, но зато Ганимед, Каллисто и Ио даже больше Луны, а Европа совсем немного уступает ей по размерам.

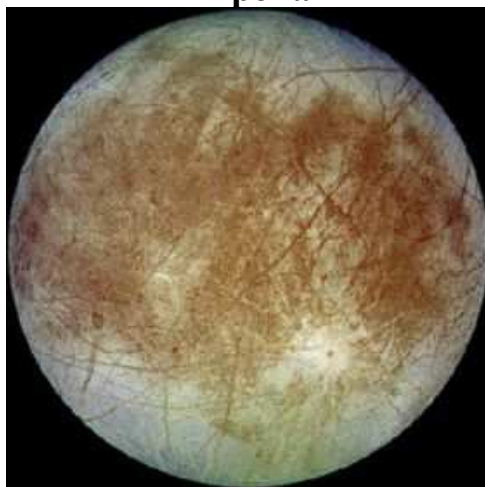
Ио



Самый ближний из крупных спутников к Юпитеру и довольно массивное тело. Его масса на 20 % больше массы Луны ( $8,92 \times 10^{25}$  г), а средняя плотность составляет 3,53 г/см<sup>3</sup>. Ускорение свободного падения велико: оно составляет 181 см/с<sup>2</sup>. Из-за приливных взаимодействий этот спутник всегда повернут одной стороной к Юпитеру, а вращение вокруг своей оси заторможено. Также, на Ио есть вулканы и очень слабая атмосфера (её плотность примерно в 10 млн. раз меньше земной). Обнаружение вулканов было неожиданно для ученых. Они все время выбрасывают большое количество серы и сернистого газа, поэтому поверхность Ио

оранжевого цвета. Однако, часть сернистого газа улетает в космос, вследствие чего за Ио по орбите тянется небольшой след.

### Европа



Также очень интересный спутник. В отличие от Ио, извержения на ней очень редки, хоть и имеют место быть. На основе средней плотности и размера небесного тела, можно сделать предварительные выводы о доле льда в общей массе спутника. Европа, скорее всего, обогащена водой по сравнению с Ио и Луной, при своей средней плотности  $3,04 \text{ г/см}^3$  и диаметре 3138 км. Первые выводы говорили о наличии на Европе ледяной оболочке, толщиной в 100 км, однако, дальнейшие оценки привели к более скромным показателям. В недрах Европы выделяется энергия приливных взаимодействий, которая поддерживает толстую мантию в жидком виде. Глобальная сеть линий, видимая на фотографиях – скорее всего, представляет из себя трещины в толстой ледяной коре, вызываемые тектоническими процессами. Но они не сопутствуют каким-либо движениям коры, а также быстро заполняются. В условиях Европы слой льда в полметра образуется за несколько секунд. Ширина разломов составляет от десятков до 100 километров, а протяженность достигает 3000 км и даже больше.

### Ганимед





Самый большой спутник в Солнечной Системе и, следовательно, самый большой спутник Юпитера. По диаметру в 5260 км этот спутник превосходит Луну и Меркурий. Рельеф этого спутника схож с Луной. Темный и светлые участки, горы и желоба, а также кратеры – вот, что было на нем обнаружено. Но – плотность Ганимеда гораздо меньше плотности Луны. Вероятно, на нем очень много льда. Примерно 50% массы приходится на лед. Также у Ганимеда есть, хоть и небольшое, но собственное магнитное поле (единственный спутник со своим магнитным полем). Возраст поверхности этого тела крайне большой. Если исходить из количества метеоритных кратеров, то возраст самых старых участков оценивается в 3-3,5 млрд. лет.

### Каллисто



Каллисто, как и Ганимед, покрыт кратерами, большинство из которых окружены трещинами. Остальную же часть массы составляют камень и металлическое ядро. По своим размерам Каллисто (4800 км) очень немного уступает Ганимеду; средняя его плотность 1,83 г/см<sup>3</sup>. Водяной лед составляет 60% массы спутника. Ледяная кора Каллисто имеет очень большую толщину. Каллисто наименее (из Галилеевых спутников) подвержена магнитосфере Юпитера и приливному разогреву. Это связано с тем, что этот спутник находится дальше всех (опять же, из Галилеевых спутников).

## 2. Гравитационное взаимодействие

Гравитация – бесконечна. Или почти бесконечна. Гравитационное поле простирается везде, где только можно. Благодаря этому свойству гравитации системы остаются системами, галактики остаются галактиками, а вселенная остается вселенной. Правда, вселенная расширяется, вопреки гравитационному притяжению, но этот феномен ещё не настолько изучен человеком.

Гравитационное взаимодействие осуществляется между всеми телами в Солнечной системе. Каждый объект оказывает, пусть и маленькое, но всё-таки влияние на все другие объекты. Центр масс – Солнце, как можно



догадаться, показывает наиболее сильное гравитационное поле. Обычно рассматривается только влияние на планеты, но мы решили сравнить воздействие Солнца и самого Юпитера на его спутники.

Гравитационная сила рассчитывается по формуле

$$F = G \cdot \frac{M_1 \cdot M_2}{R^2} \quad (2.1),$$

где  $G$  - гравитационная постоянная,

$M_1$  и  $M_2$  - массы тел,

$R$  - расстояние между телами.

В системе «Юпитер - спутники» центром масс является Юпитер. Но Юпитер – спутник Солнца, гораздо более массивного тела. Может ли быть так, что Солнце притягивает спутники Юпитера сильнее, чем он сам? А если нет, то, на каком расстоянии должен находиться спутник, чтобы такое произошло?

Если исходить из здравого смысла – скорее всего ближние спутники не будут притягиваться Солнцем сильнее Юпитером. Что и получилось в расчетах. Дальние спутники, в свою очередь, притягиваются Юпитером примерно также как и Солнцем. Также было установлено, что масса не влияет на соотношение – самое главное - это удаление от Юпитера.

### 3. Расчет соотношения гравитационных сил

Для того чтобы ответить на вопрос: к чему сильнее притягиваются спутники – к Солнцу или к Юпитеру – были произведены следующие вычисления.

Рассчитаны гравитационные силы между Солнцем и каждым Галилеевым спутником по формуле (2.1).

Рассчитаны гравитационные силы между Юпитером и каждым Галилеевым спутником по формуле (2.2).

Рассмотрено соотношение между этими двумя гравитационными силами для каждого из спутников.

Данные для расчетов и результаты расчетов приведены ниже.

#### **Солнце/спутник**

Расстояние между центрами спутника и Юпитера очень мало по сравнению с расстоянием между Солнцем и Юпитером, поэтому за расстояния между спутником и Солнцем можно взять расстояние между Солнцем и Юпитером.

$$R_{\text{Солнце / спутник}} = 778000000000 \text{ м}$$

$$M_{\text{Солнца}} = 1,98 \cdot 10^{30} \text{ кг}$$

$$F_{\text{Солнце / спутник}} = G \cdot \frac{M_{\text{Солнца}} \cdot M_{\text{спутника}}}{R_{\text{Солнце / спутник}}^2}$$

Табл. 2.1.

Спутник	Масса, кг	Гравитационная сила между Солнцем и спутником, Н
Ио	$8,92 \cdot 10^{22}$	$1,94 \cdot 10^{19}$
Европа	$4,87 \cdot 10^{22}$	$1,06 \cdot 10^{19}$
Ганимед	$1,49 \cdot 10^{23}$	$3,24 \cdot 10^{19}$
Каллисто	$1,07 \cdot 10^{23}$	$2,32 \cdot 10^{19}$

### Юпитер/спутник

$$M_{\text{Юпитера}} = 1,89 \cdot 10^{27} \text{ кг}$$

$$F_{\text{Юпитер / спутник}} = G \cdot \frac{M_{\text{Юпитера}} \cdot M_{\text{спутника}}}{R_{\text{Юпитер / спутник}}^2}$$

Табл. 2.2.

Спутник	Масса, кг	Расстояние между Юпитером и спутником, м	Гравитационная сила между Юпитером и спутником, Н
Ио	$8,92 \cdot 10^{22}$	422000000	$6,31 \cdot 10^{22}$
Европа	$4,87 \cdot 10^{22}$	671000000	$1,36 \cdot 10^{22}$
Ганимед	$1,49 \cdot 10^{23}$	1070000000	$1,64 \cdot 10^{22}$
Каллисто	$1,07 \cdot 10^{23}$	1880000000	$3,80 \cdot 10^{21}$

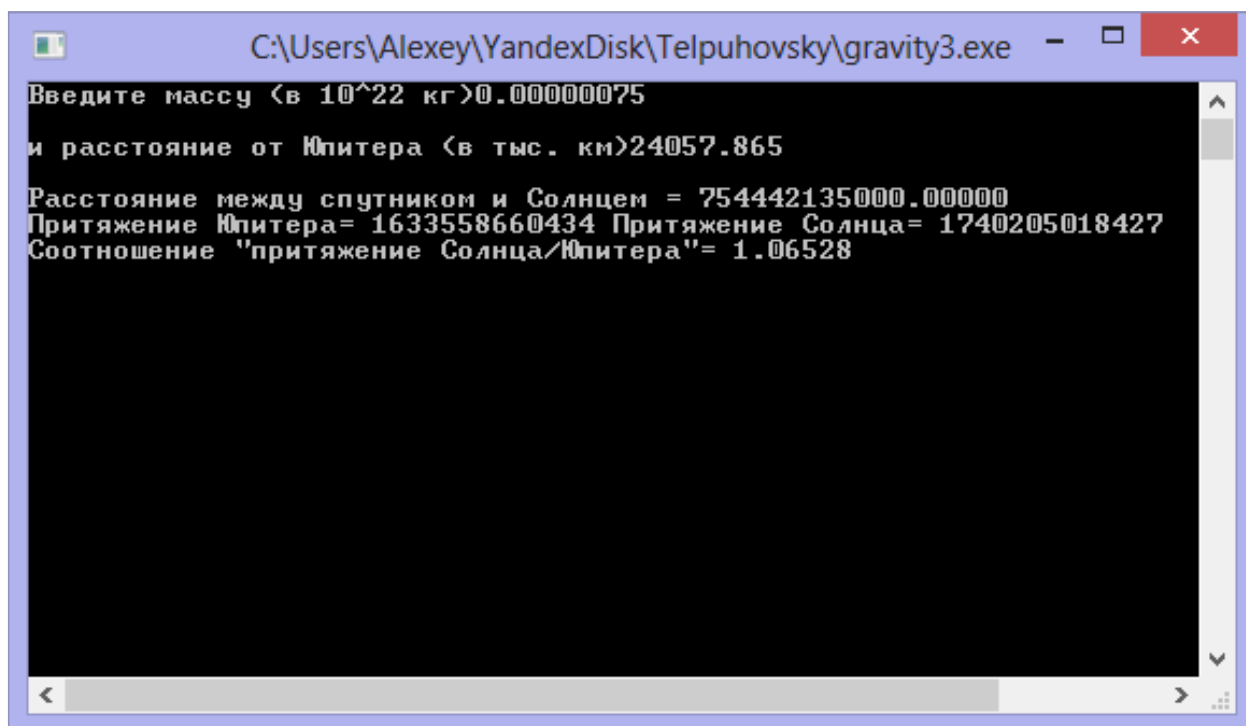
Соотношение гравитационных сил  $\frac{F_{\text{Солнце / спутник}}}{F_{\text{Юпитер / спутник}}}$  для каждого спутника:

Спутник	Соотношение гравитационных сил
Ио	$3,08 \cdot 10^{-4}$
Европа	$7,78 \cdot 10^{-4}$
Ганимед	$1,08 \cdot 10^{-3}$
Каллисто	$6,11 \cdot 10^{-3}$

## Заключение

Так как Юпитер обладает сильным гравитационным полем, а рассматриваемые спутники расположены относительно недалеко от него, мы получили в результате большее влияние Юпитера на спутники, чем влияние Солнца. Также это объясняется тем, что система «Юпитер – спутники» сильно удалена от Солнца, по сравнению, например, с Землей (где в соотношении Солнце-Луна и Земля-Луна Солнце показывает влияние в 2,2 раза больше, чем Земля). Наибольшее влияние Юпитер оказывает на Ио. Наименьшее – на Каллисто. С Солнцем же наоборот. На спутник Ио оно оказывает наименьшее влияние – это потому, что Ио наиболее близкий спутник к Юпитеру (из рассматриваемых спутников). А на Каллисто оказывается наибольшее влияние, так как это наиболее дальний спутник Юпитера. Следовательно, чем дальше спутник от Юпитера, тем меньше оказываемое Юпитером влияние и тем больше оказываемое Солнцем.

Например, спутник Синопе находится на расстоянии 24,05 млн. км от Юпитера. В программе мы задаем расстояние от спутника до Юпитера, а расстояние от Солнца до спутника вычисляется - для спутников, чьи орбиты находятся на достаточно удаленном расстоянии от Юпитера, это важно. Его масса  $7,5 \cdot 10^{16}$  кг. Сила притяжения между Солнцем и спутником уже больше, чем между Юпитером и спутником. Соотношение сил гравитации для спутника Синопе равно 1.06528.



Для самого удаленного спутника S/2003 J 2 соотношение гравитационных сил было равно 1.7, что неудивительно, учитывая его удаленность от Юпитера – целых 30290 тыс. километров!

Так как масса не влияет на соотношение сил гравитации между небесным телом, находящимся между Юпитером и Солнцем, а с помощью программы можно выяснить на каком расстоянии Солнце начинает оказывать большее притяжение, чем Юпитер (т.е. соотношение больше 1), то это и было сделано путем подбора. Соотношение 1.00005 было найдено на расстоянии 23332 тыс. км.:

```
Введите массу (в 10^22 кг)100.500
и расстояние от Юпитера (в тыс. км)23332
Расстояние между спутником и Солнцем = 755168000000.00000
Притяжение Юпитера= 232728603937662740000 Притяжение Солнца= 2327394098463630000
00
Соотношение "притяжение Солнца/Юпитера"= 1.00005
```

Листинг программы в приложении 1.

# Приложение 1

```
Program gravity2;

Const      GN=6.67e-11;
           ms=1.98e+30;
           mj=1.89e+27;
           ss=7.785e+11;
           e22=1e+22;

type sputnik=record
    m, sj, sjs, fs, fj:Extended;
end;

var  b           :sputnik;
     gravVSgrav:Extended;
     i, j        :shortint;

Procedure inform;
begin
    with b do begin
        m :=0;
        fs:=0;
        fj:=0;
        write('Введите массу (в 10^22 кг)');
        readln(m);
        writeln;
        write('Введите расстояние до Юпитера (в тыс. км)');
        readln(sj);
        m :=m*e22;
        sj:=sj*1000000;
        writeln;
        sjs:=ss-sj;
        writeln('Расстояние между спутником и Солнцем = ', sjs:5:5);
    end;
end;

Procedure GravityF;
begin
    with b do begin
        fj:=(m*mj*GN)/(sj*sj);
        fs:=(m*ms*GN)/(sjs*sjs);
        gravVSgrav:=fs/fj;
        writeln('Притяжение Юпитера = ', fj:1:0, 'Притяжение Солнца = ', fs:1:0);
    end;
    writeln('Соотношение “притяжение Солнца/Юпитера” = ', gravVSgrav:5:5);
end;

Begin
    inform;
    GravityF;
    readln;
end.
```

## Список использованных источников

- 1) Web-ресурс: <http://www.yoki.ru/anomalous/22-07-2006/26898-ufo-0>
- 2) Web-ресурс: <http://anomalial.kulichki.ru/photo/100.htm>
- 3) Web-ресурс: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Метеозонд>
- 4) В.Санаров - 'Воздушные призраки': инварианты и вариации. Техника Молодежи, №6, 1988.
- 5) У. Харбинсон. ПРОЕКТ «НЛО». Хроника необъяснимого. Гипотеза за гипотезой. М., «Олимп-АСТ», 1998 г.