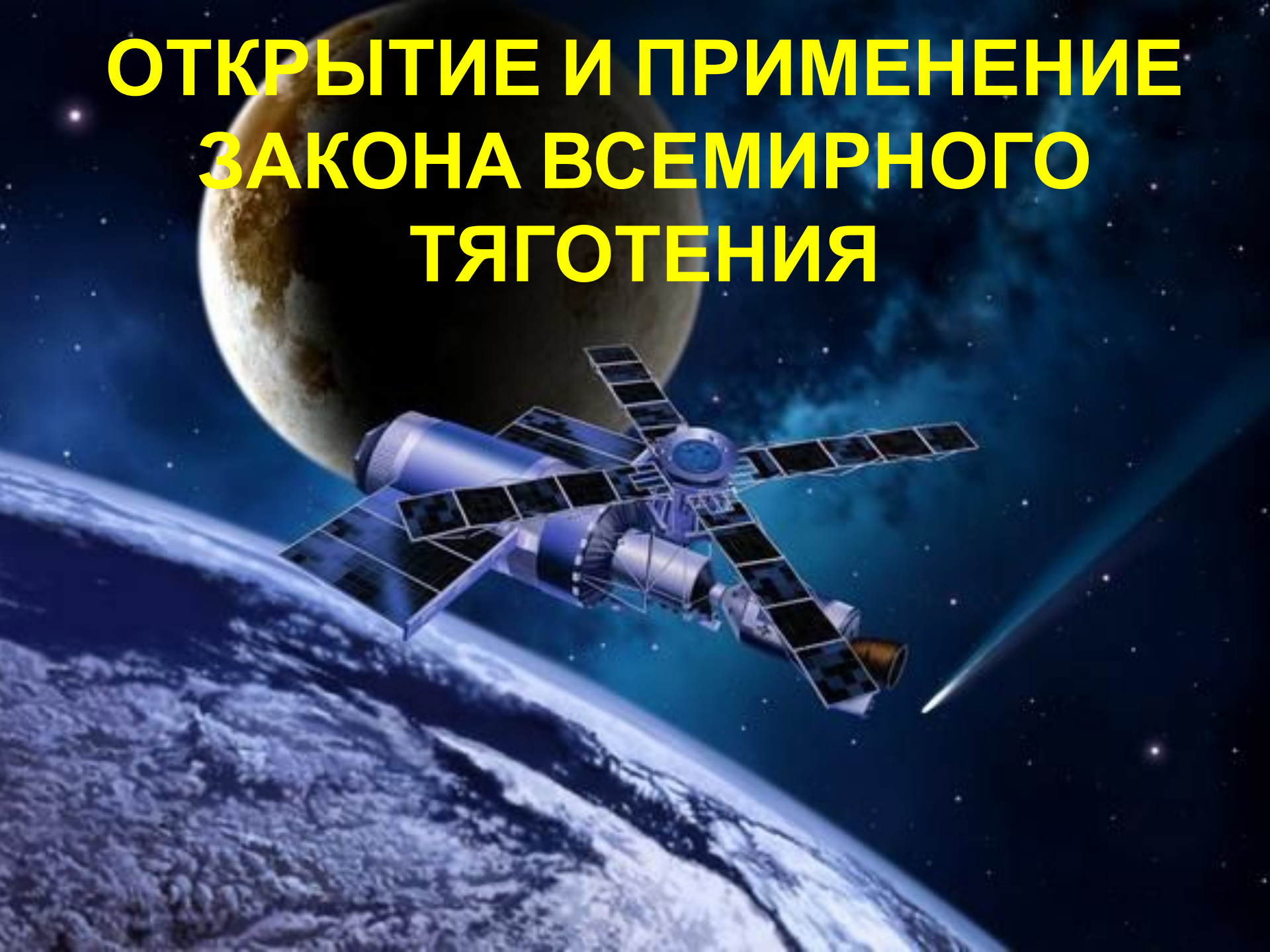


# ОТКРЫТИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ ЗАКОНА ВСЕМИРНОГО ТЯГОТЕНИЯ



# Закон всемирного тяготения

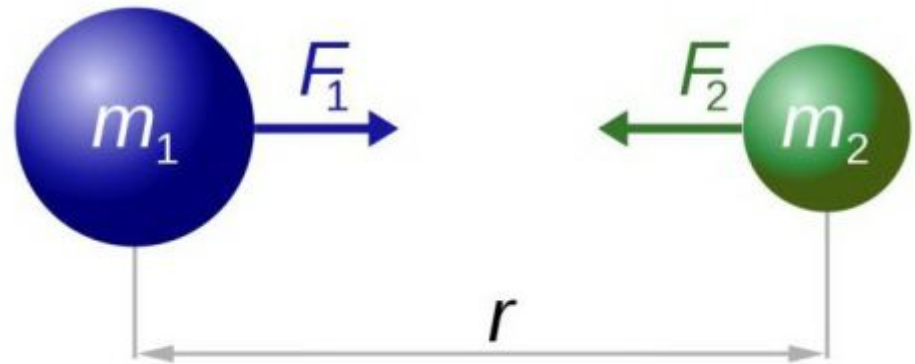
## 1. Космические скорости и форма орбит.



Исаак Ньютон (1643–1727 )

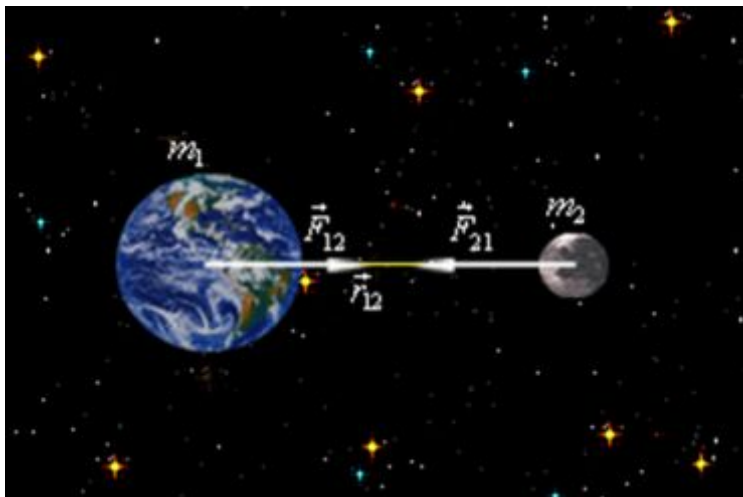
## Закон всемирного тяготения

*Все тела во Вселенной притягиваются друг к другу с силой, прямо пропорциональной произведению их масс и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними.*



$$F_1 = F_2 = G \frac{m_1 \times m_2}{r^2}$$

где  $m_1$  и  $m_2$  – массы тел;  
 $r$  – расстояние между телами;  
 $G$  – гравитационная постоянная



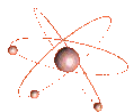
Открытию закона всемирного тяготения во многом способствовали законы движения планет, сформулированные Кеплером, и другие достижения астрономии XVII в.

Знание расстояния до Луны позволило Исааку Ньютону доказать тождественность силы, удерживающей Луну при ее движении вокруг Земли, и силы, вызывающей падение тел на Землю.

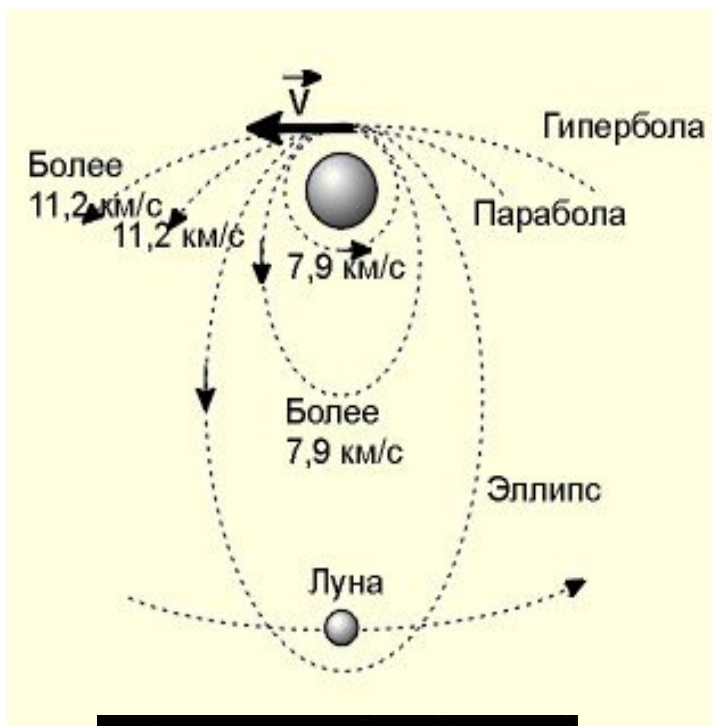


$$F_1 = F_2 = G \frac{m_1 \times m_2}{r^2}$$

Так как сила тяжести меняется обратно пропорционально квадрату расстояния, как это следует из закона всемирного тяготения, то Луна, находящаяся от Земли на расстоянии примерно 60 ее радиусов, должна испытывать ускорение в 3600 раз меньшее, чем ускорение силы тяжести на поверхности Земли, равное 9,8 м/с<sup>2</sup>. Следовательно, ускорение Луны должно составлять 0,0027 м/с<sup>2</sup>.



# Форма орбит.



Под действием взаимного тяготения тела могут двигаться друг относительно друга по **эллипсу, параболе и гиперболе**. Форма орбиты, по которой движется тело под действием силы тяготения, зависит от его скорости.

Скорость, при котором тело становится искусственным спутником планеты называют **первой космической**.

У поверхности Земли первая космическая скорость равна 7,9 км/с.

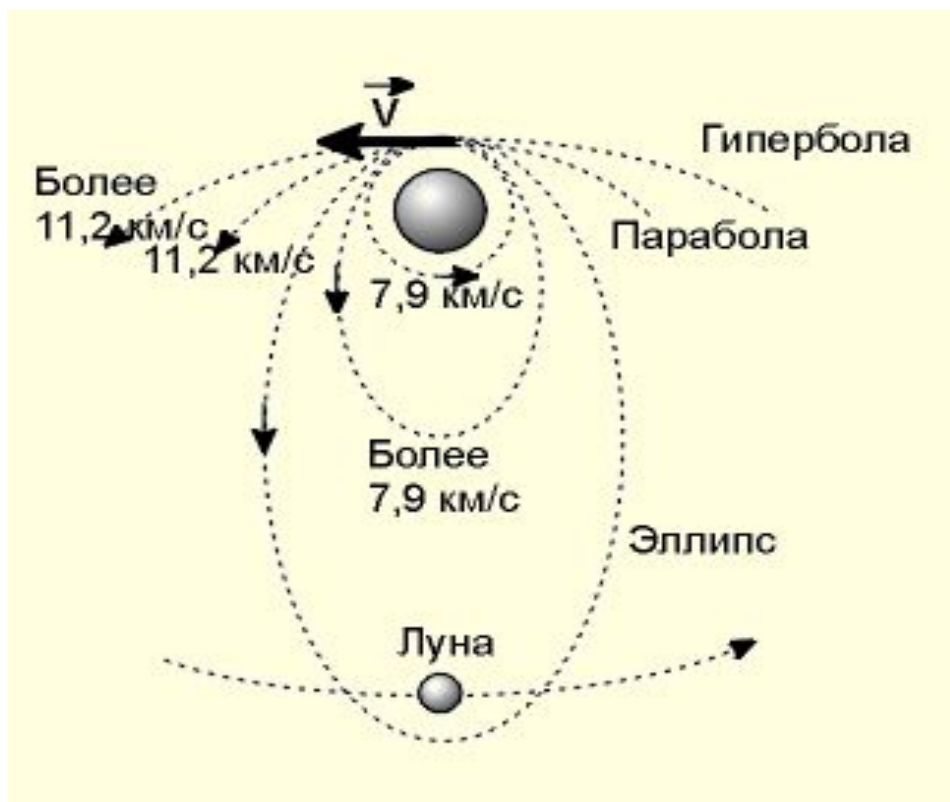
Скорость, которую надо сообщить телу, чтобы оно, преодолев притяжение планеты, превратилось в спутник Солнца, называют **второй космической**. Для Земли вторая космическая скорость равна 11,2 км/с.

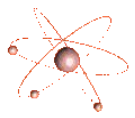
Для того, чтобы тело навсегда покинуло Солнечную систему, на расстоянии от Земли (149,6 млн. км) ему нужно придать скорость 42,1 км/с. Эту скорость иногда называют **третьей космической**, в этом случае тело движется по гиперболе.



Исаак Ньютон (1643–1727 )

Ньютон установил, что *вид орбиты, которую описывает тело, зависит от его скорости в данном месте орбиты.*





# **Первый искусственный спутник Земли.**

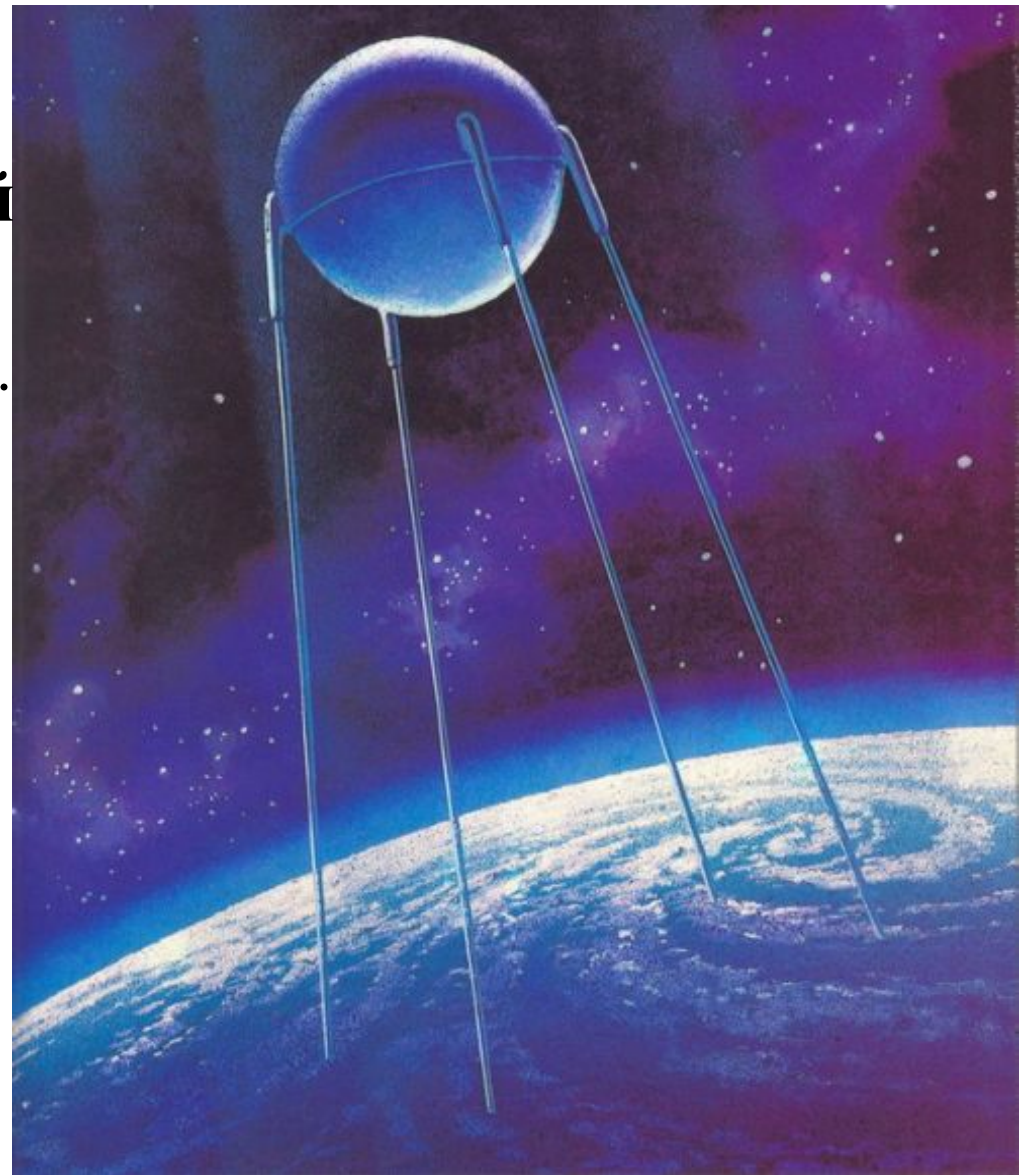
Запущен 4 октября 1957 года.

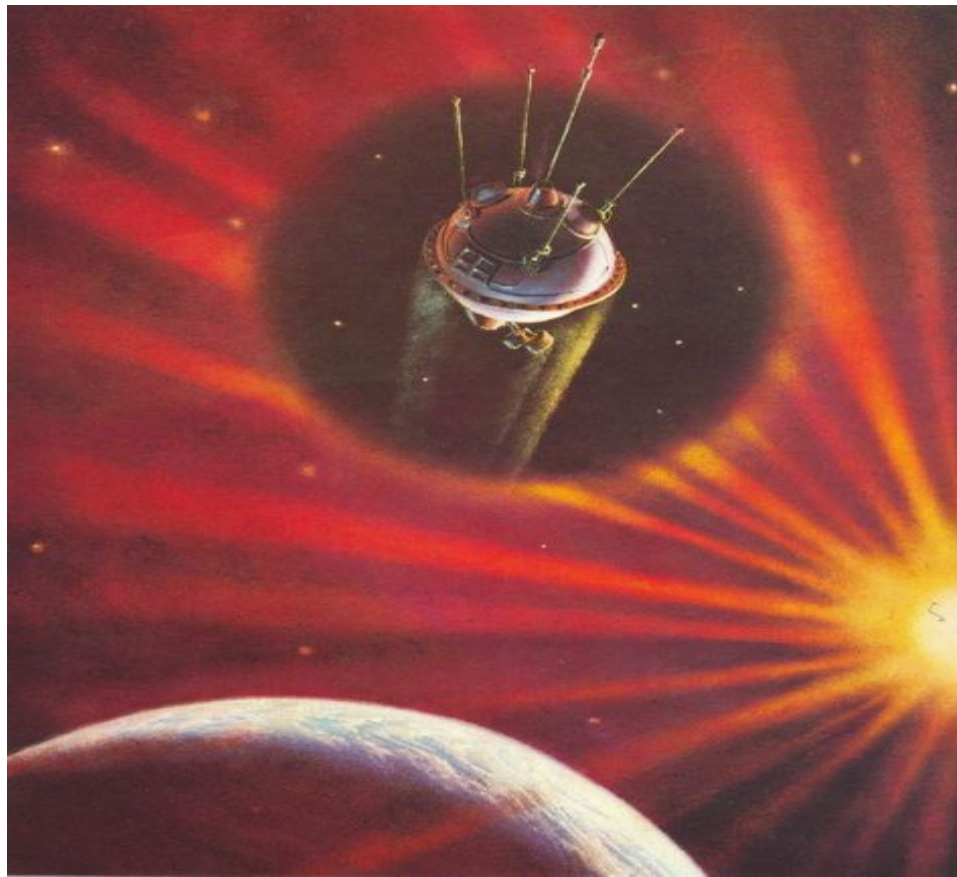
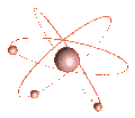
Скорость – первая  
космическая.

Масса – 83,6 килограмма.

Время полета – 92 суток.

Орбита – эллиптическая.





**Искусственная планета "Мечта",  
автоматическая станция "Луна-1"**

Запущена в январе 1959 года

Скорость – вторая космическая (около 11,2 км/с)

Орбита – параболическая (вокруг Солнца)



# Возмущения в движениях тел Солнечной системы

Движение планет Солнечной системы не в точности подчиняется законам Кеплера из-за их взаимодействия не только с Солнцем, но и между собой.

Отклонения тел от движения по эллипсам называют **возмущениями**.

Возмущения невелики, так как масса Солнца гораздо больше массы не только отдельной планеты, но и всех планет в целом.



Особенно заметны отклонения астероидов и комет при их прохождении вблизи Юпитера, масса которого в 300 раз превышает массу Земли.

Открытие планет.

## В XIX в. расчёт возмущений позволил открыть планету Нептун.

*Вильям Гершель* в 1781 г. открыл планету *Уран*.

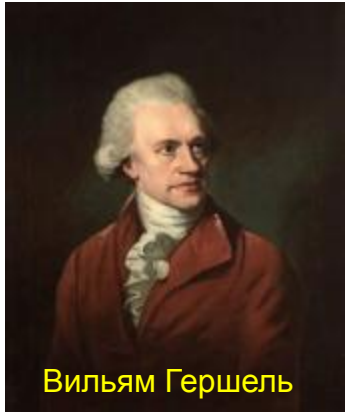
Даже при учете возмущений со стороны всех известных планет наблюдаемое движение Урана не согласовывалось с расчетным.

На основе предположения о наличии еще одной «заурановой» планеты *Джон Адамс* в Англии и *Урбен Леверье* во Франции независимо друг от друга сделали вычисления ее орбиты и положения на небе.

На основе расчетов Леверье немецкий астроном *Иоганн Галле* 23 сентября 1846 г. обнаружил в созвездии Водолея неизвестную ранее планету – *Нептун*.

По возмущениям Урана и Нептуна была предсказана, а в 1930 году и обнаружена карликовая планета *Плутон*.

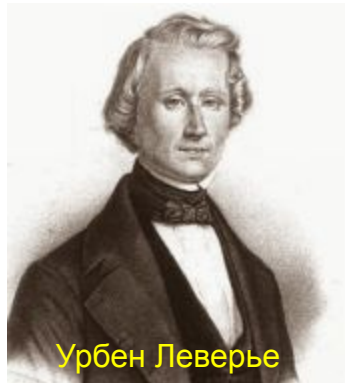
Открытие Нептуна стало триумфом гелиоцентрической системы, важнейшим подтверждением справедливости закона всемирного тяготения.



Вильям Гершель



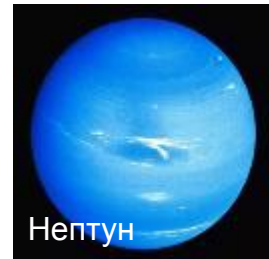
Джон Адамс



Урбен Леверье



Уран



Нептун



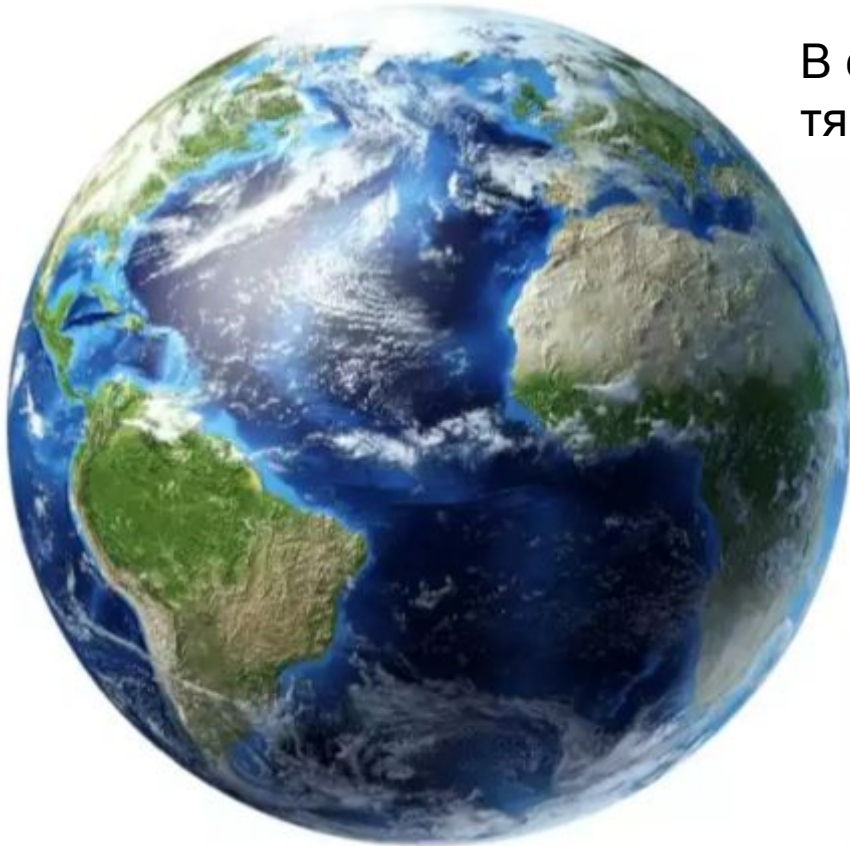
Плутон



Иоганн Галле

# Масса и плотность Земли

Закон всемирного тяготения позволил определить массу Земли.



В соответствии с законом всемирного тяготения ускорение свободного падения:

$$g = G \frac{M}{R^2}, \text{ где}$$

$$g = 9,8 \text{ м/с}^2,$$

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2,$$

$$R = 6370 \text{ км}$$

$$M = \frac{g R^2}{G}$$

$$M = 6 \cdot 10^{24} \text{ кг}$$

Зная массу и объем земного шара, можно вычислить его среднюю плотность:  
 **$5,5 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ .**

С глубиной за счет увеличения давления и содержания тяжелых элементов плотность возрастает

# Определение массы небесных тел

Более точная формула третьего закона Кеплера, которая была получена Ньютоном, дает возможность определить массу небесного тела.

Пусть два взаимно притягивающихся тела обращаются по круговой орбите с периодом  $T$  вокруг общего центра масс. Расстояние между их центрами  $R = r_1 + r_2$ .

На основании закона всемирного тяготения ускорение каждого из этих тел равно:

$$a_1 = G \frac{m_2}{R^2}, \quad a_2 = G \frac{m_1}{R^2}.$$

Угловая скорость обращения вокруг центра масс:

$$\omega = \frac{2\pi}{T}.$$

Центростремительные ускорения тел:

$$a_1 = \frac{4\pi^2}{T^2} r_1, \quad a_2 = \frac{4\pi^2}{T^2} r_2.$$

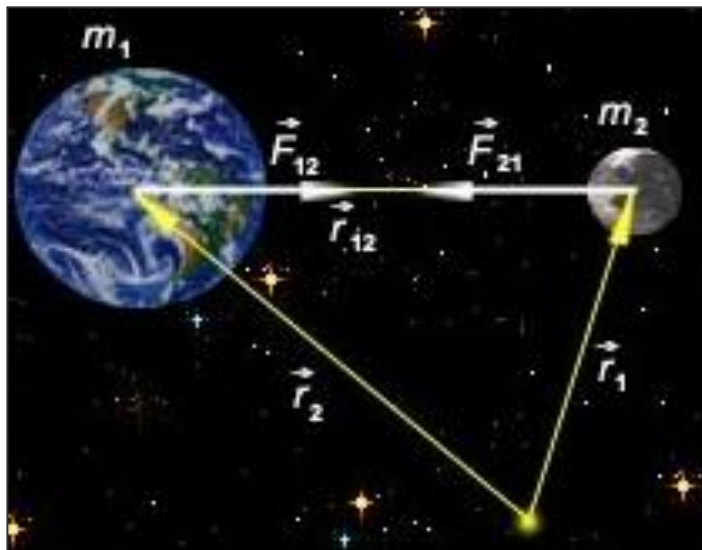
Приравняв полученные для ускорений выражения, выразив из них  $r_1$  и  $r_2$  и сложив их почленно, получаем:

$$G = \frac{(m_1 + m_2)}{R^2} = \frac{4\pi^2}{T^2} (r_1 + r_2),$$

откуда

$$\frac{T^2 (m_1 + m_2)}{R^3} = \frac{4\pi^2}{G}.$$

В правой части выражения находятся только постоянные величины, поэтому оно справедливо для любой системы двух тел, взаимодействующих по закону тяготения и обращающихся вокруг общего центра масс, – Солнце и планета, планета и спутник.

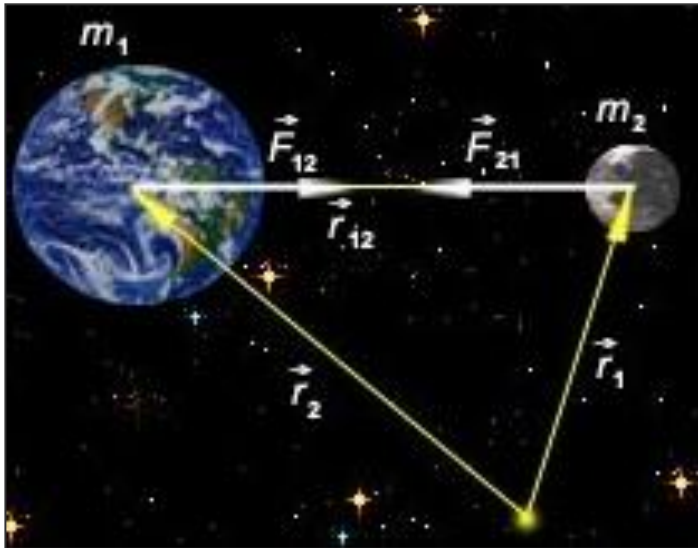
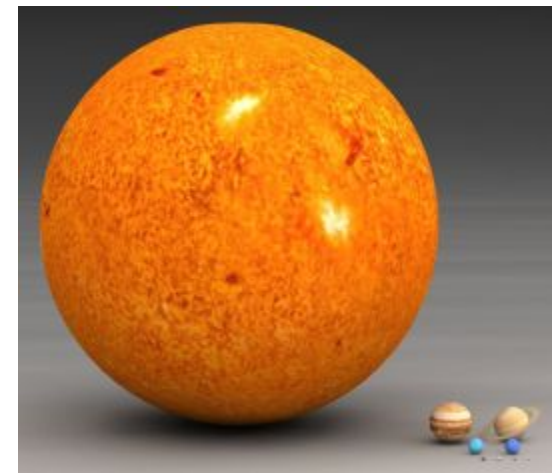




Определим массу Солнца из выражения:

$$\frac{T_1^2(M+m_1)}{a_1^3} = \frac{T_2^2(m_1+m_2)}{a_2^3},$$

где  $M$  – масса Солнца;  $m_1$  и  $m_2$  – массы Земли и Луны;  
 $T_1$  и  $a_1$  – период обращения Земли вокруг Солнца (год) и  
большая полуось ее орбиты;  $T_2$  и  $a_2$  – период обращения  
Луны вокруг Земли и большая полуось лунной орбиты.



Пренебрегая массой Земли, которая ничтожно мала по сравнению с массой Солнца, и массой Луны, которая в 81 раз меньше массы Земли, получим:

$$\frac{M}{m_1} = \frac{a_1^3 T_2^2}{a_2^3 T_1^2}.$$

Подставив в формулу соответствующие значения и приняв массу Земли за единицу, получим, что Солнце по массе больше Земли в 333 тыс. раз.

Массы планет, не имеющих спутников, определяют по тем возмущениям, которые они оказывают на движение астероидов, комет или космических аппаратов, пролетающих в их окрестностях.

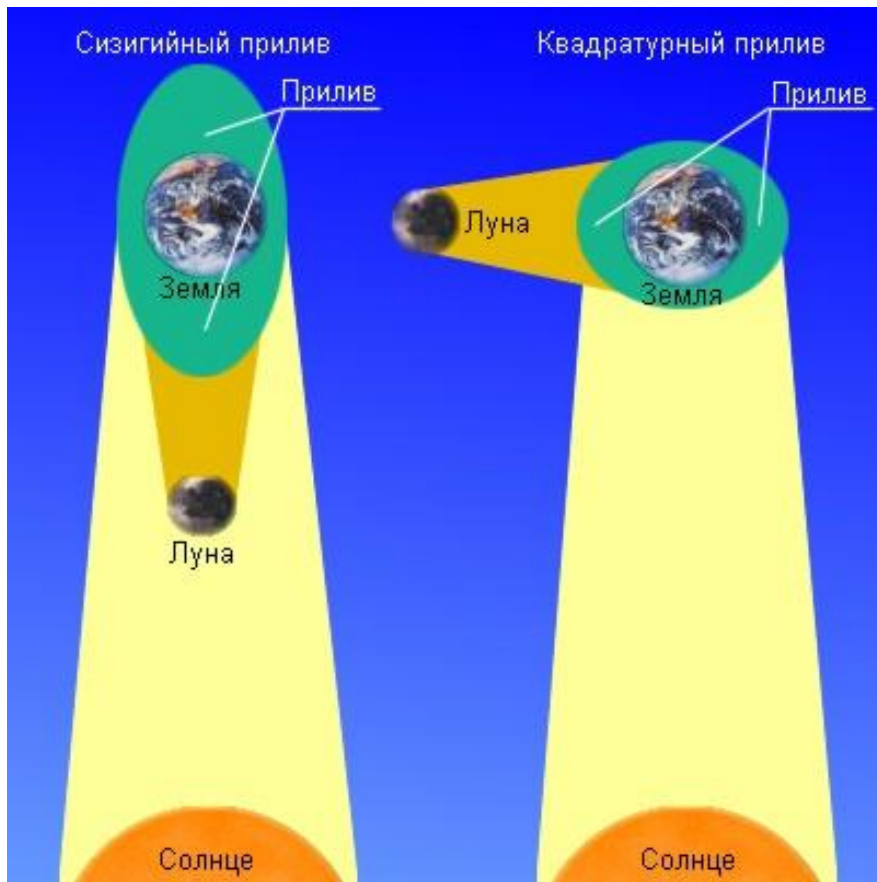


# Приливы

Под действием взаимного притяжения частиц тело стремится принять форму шара. Если эти тела вращаются, то они деформируются, сжимаются вдоль оси вращения.

Кроме того, изменение их формы происходит и под действием взаимного притяжения, которое вызывают явления, называемые *приливами*.





Тяготение Солнца также вызывает приливы, но из-за большей его удаленности они меньше, чем вызванные Луной.

Между огромными массами воды, участвующей в приливных явлениях, и дном океана возникает *приливное трение*.

Приливное трение тормозит вращение Земли и вызывает увеличение продолжительности суток, которые в прошлом были значительно короче (5–6 ч).

Тот же эффект ускоряет орбитальное движение Луны и приводит к её медленному удалению от Земли.

Приливы, вызываемые Землей на Луне, затормозили ее вращение, и она теперь обращена к Земле одной стороной.

