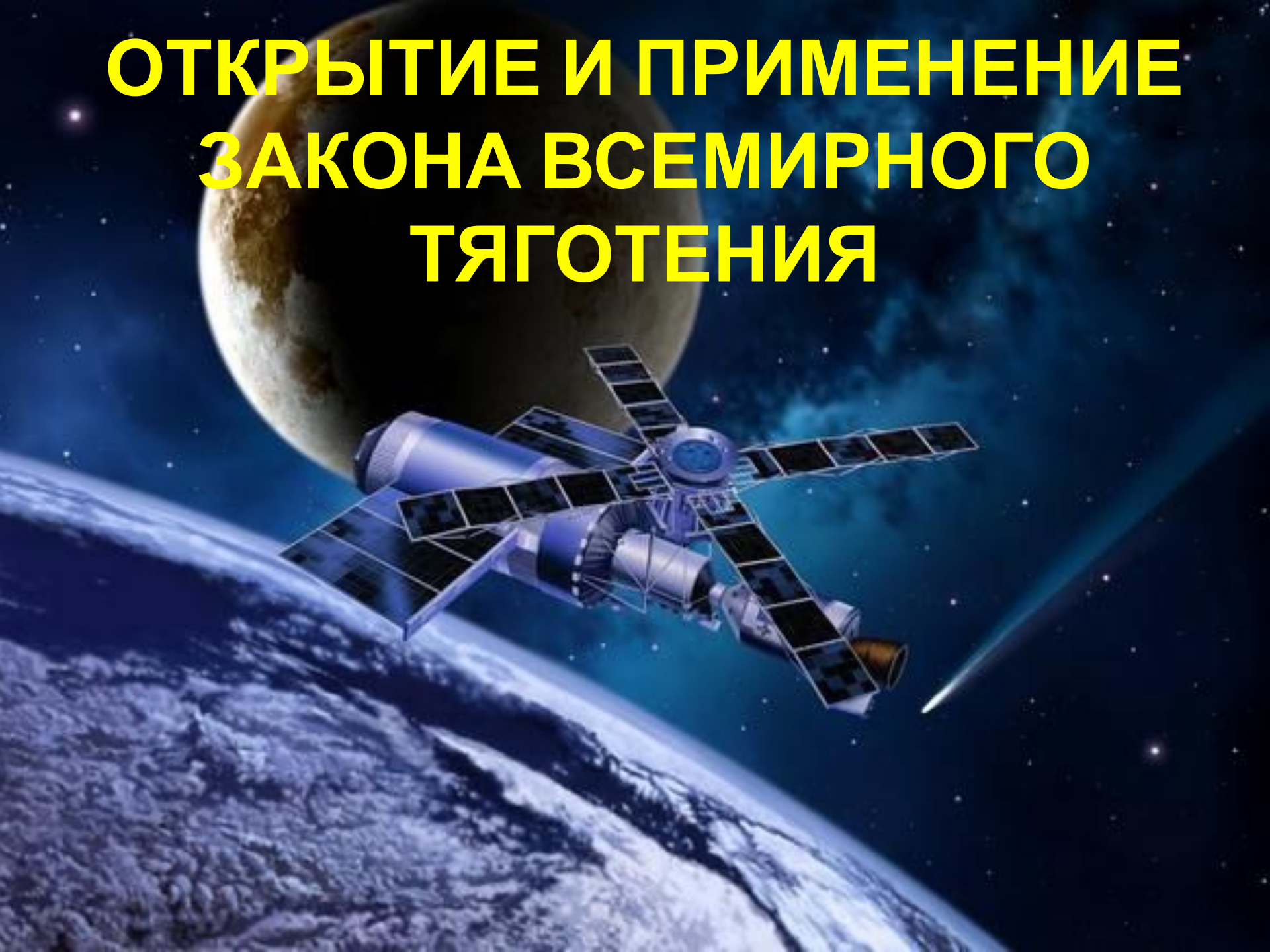


ОТКРЫТИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ ЗАКОНА ВСЕМИРНОГО ТЯГОТЕНИЯ



Закон всемирного тяготения

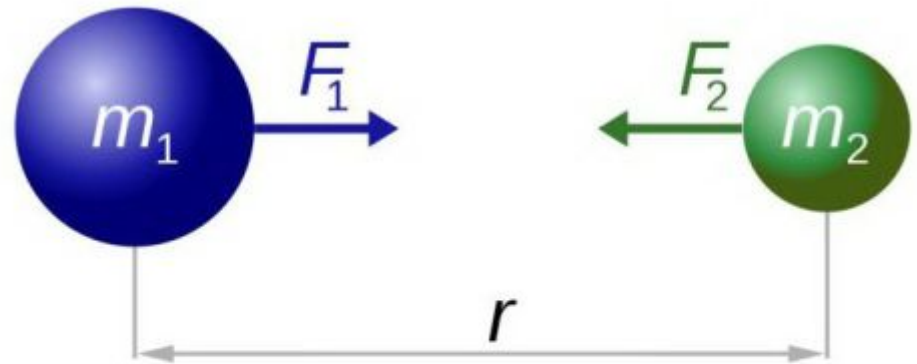
1. Космические скорости и форма орбит.



Исаак Ньютон (1643–1727)

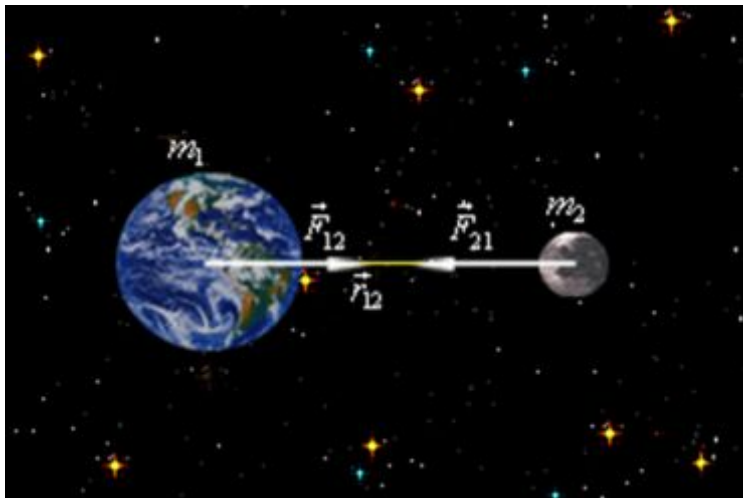
Закон всемирного тяготения

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



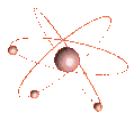
Открытию закона всемирного тяготения во многом способствовали законы движения планет, сформулированные Кеплером, и другие достижения астрономии XVII в.

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

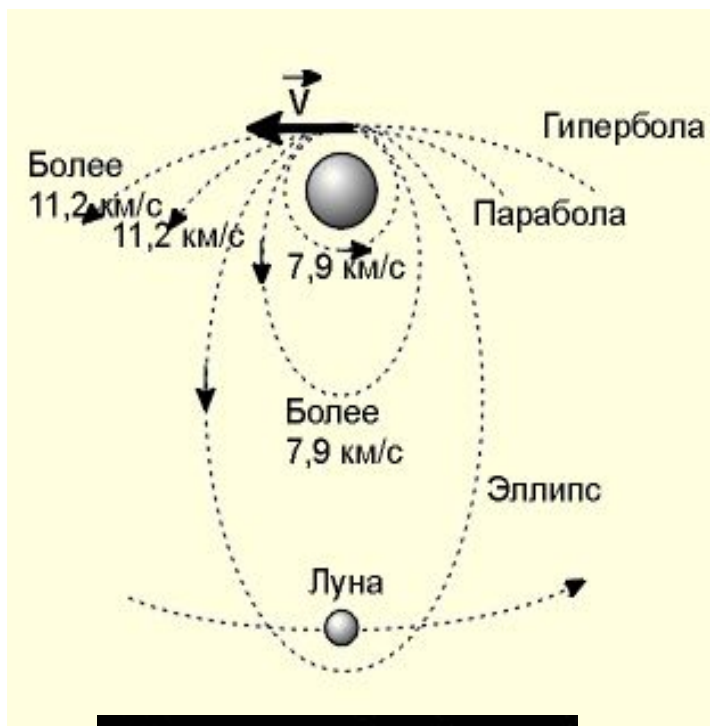


$$F_1 = F_2 = G \frac{m_1 \times m_2}{r^2}$$

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 . Следовательно, ускорение Луны должно составлять 0,0027 м/с².



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.

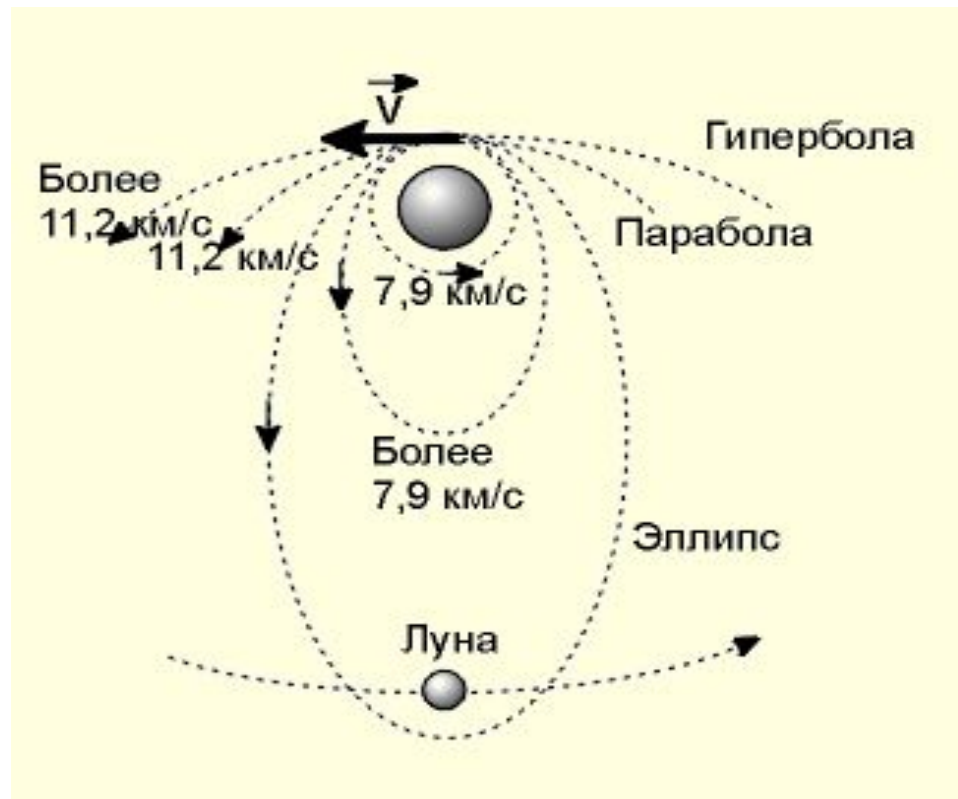
Скорость, которую надо сообщить телу, чтобы оно, преодолев притяжение планеты, превратилось в спутник Солнца, называют **второй космической**. Для Земли вторая космическая скорость равна 11,2 км/с.

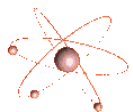
Для того, чтобы тело навсегда покинуло Солнечную систему, на расстоянии от Земли (149,6 млн. км) ему нужно придать скорость 42,1 км/с. Эту скорость иногда называют **третьей космической**, в этом случае тело движется по гиперболе.



Исаак Ньютон (1643–1727)

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





Первый искусственный спутник Земли.

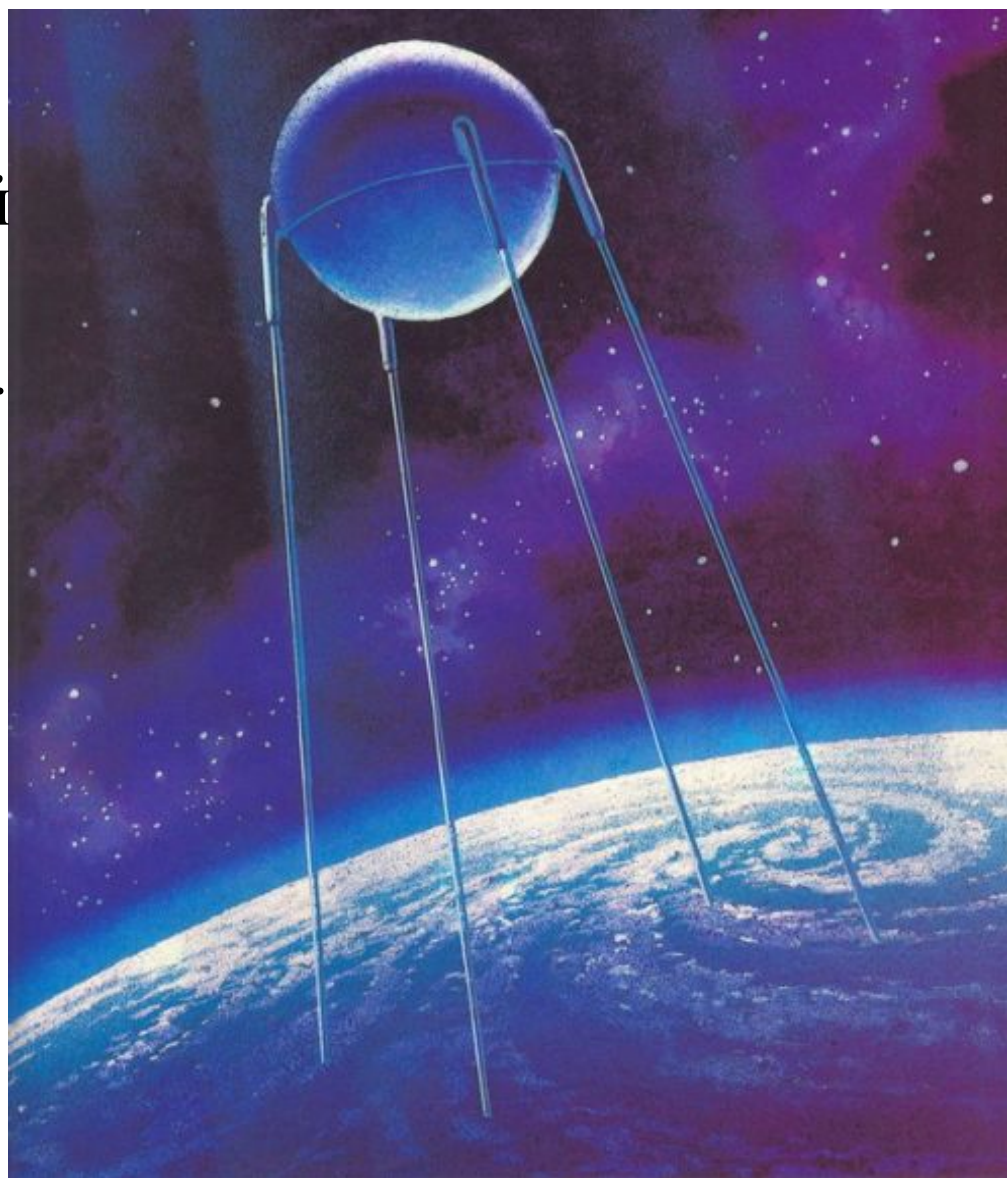
Запущен 4 октября 1957 года.

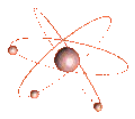
Скорость – первая
космическая.

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*.

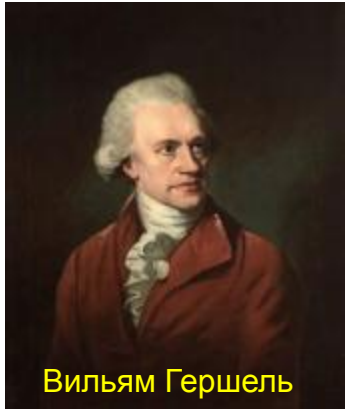
Даже при учете возмущений со стороны всех известных планет наблюдаемое движение Урана не согласовывалось с расчетным.

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*.

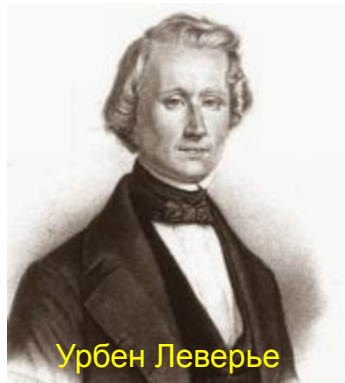
Открытие Нептуна стало триумфом гелиоцентрической системы, важнейшим подтверждением справедливости закона всемирного тяготения.



Вильям Гершель



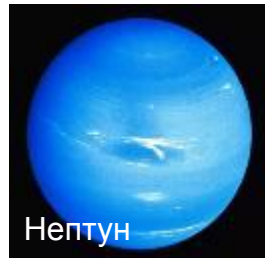
Джон Адамс



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:

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

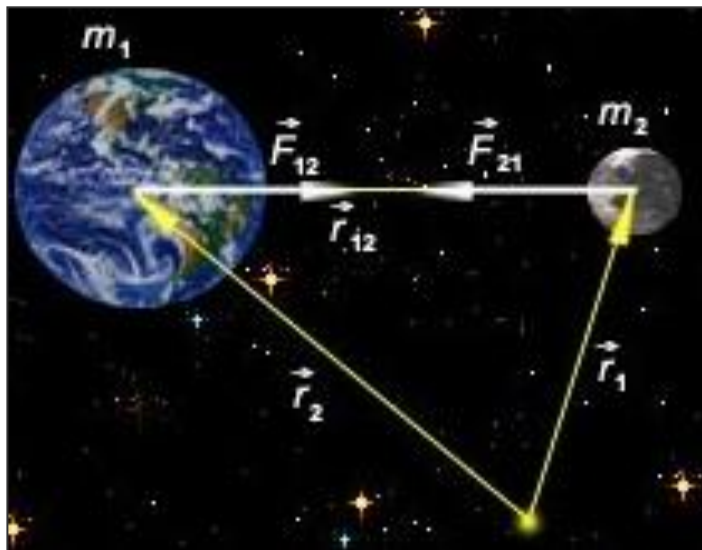
Приравняв полученные для ускорений выражения, выразив из них r_1 и r_2 и сложив их почленно, получаем:

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

откуда

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

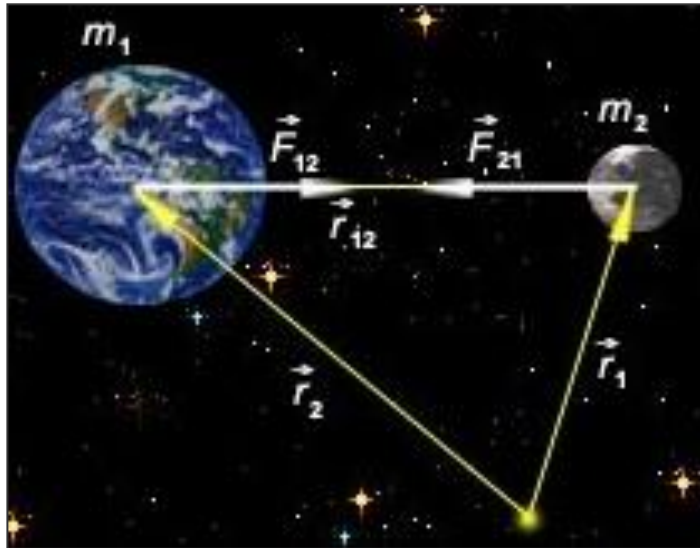
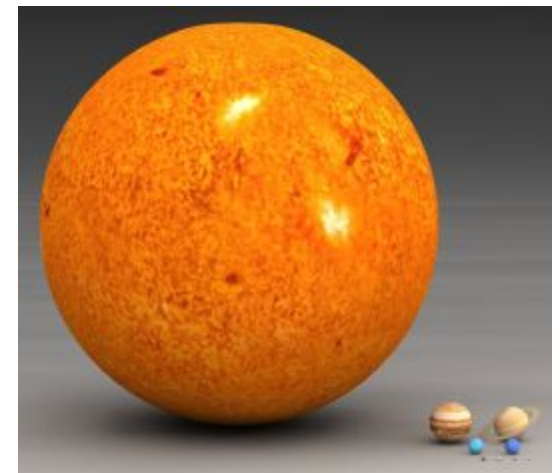
В правой части выражения находятся только постоянные величины, поэтому оно справедливо для любой системы двух тел, взаимодействующих по закону тяготения и обращающихся вокруг общего центра масс, – Солнце и планета, планета и спутник.



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.

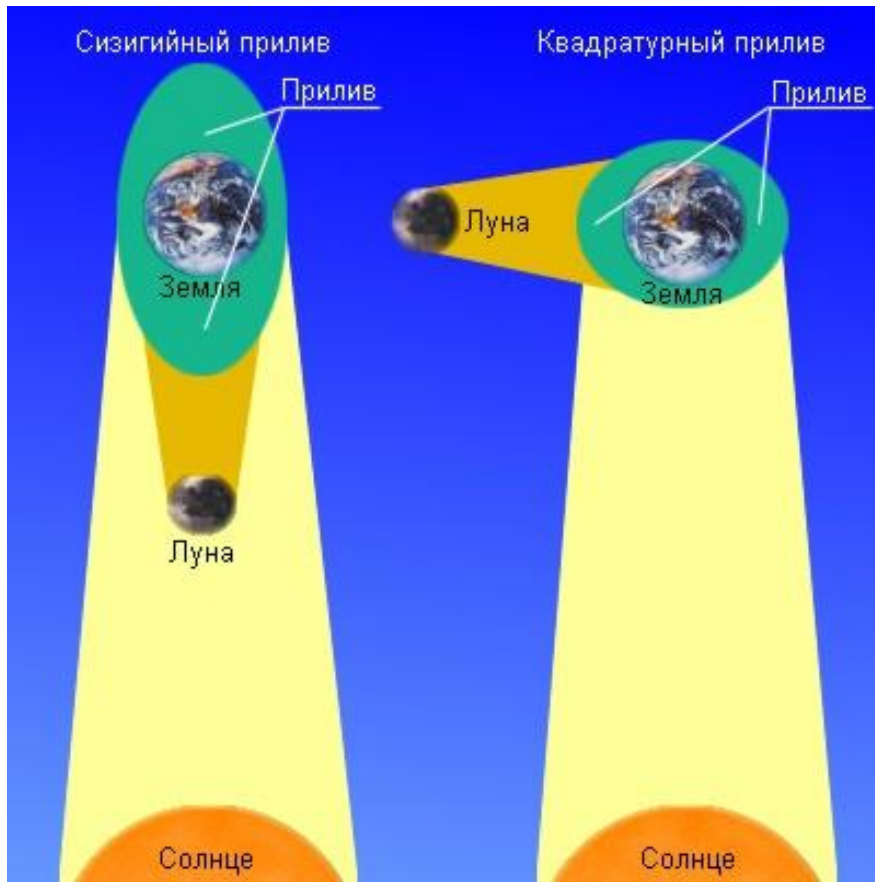


Приливы

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.

