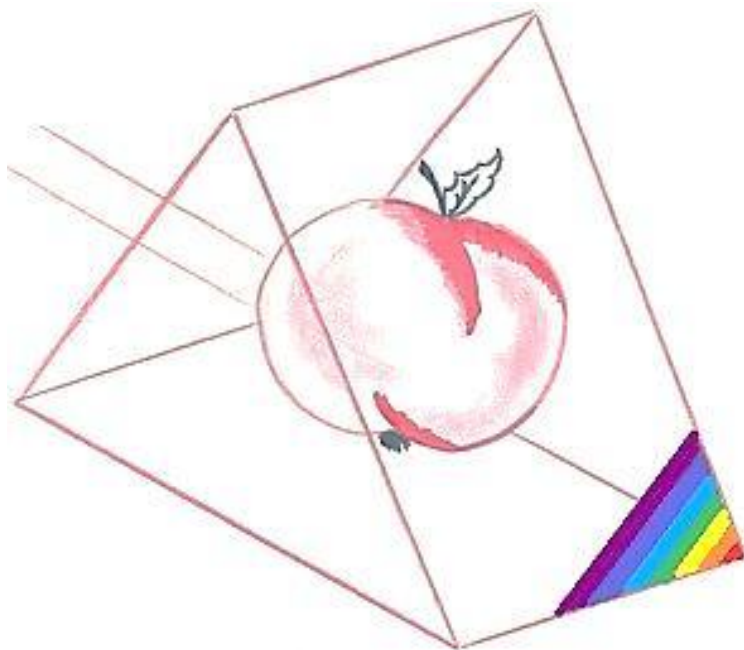


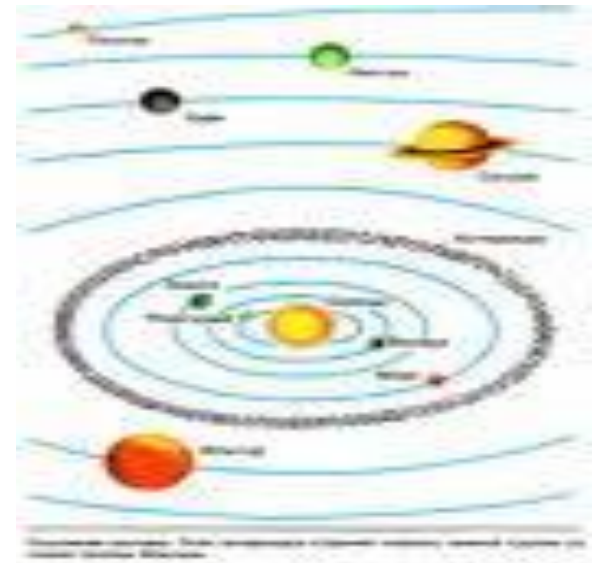


Закон всемирного тяготения

§15, упр 15

Гипотез я не измышляю.
И. НЬЮТОН





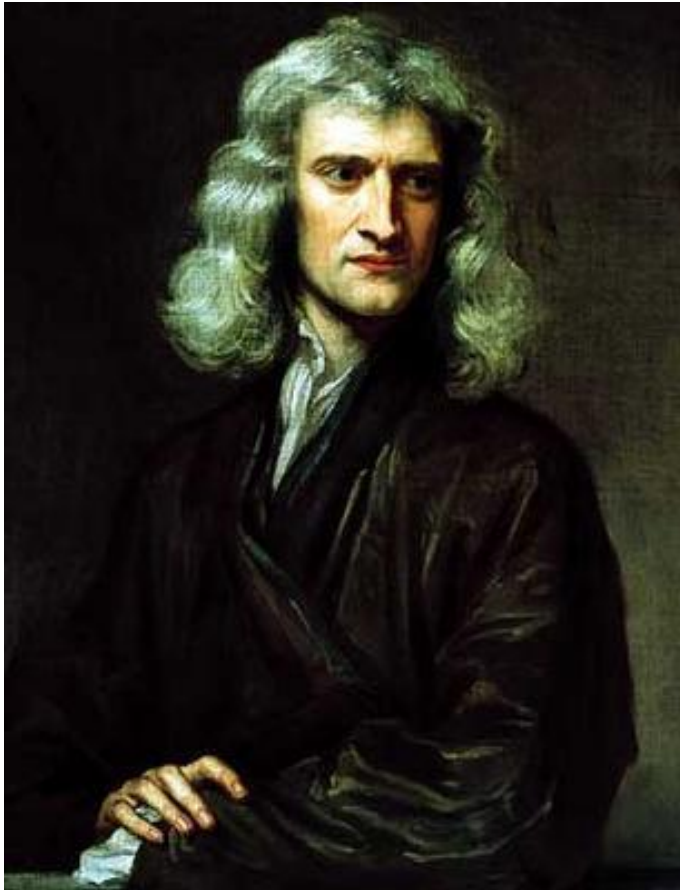
Датский астроном Тихо Браге многие годы наблюдал за движением планет , накопил многочисленные данные. Но не сумел их обработать.



Это сделал его ученик Иоганн Кеплер.

Используя идею Коперника о гелиоцентрической системе и результаты наблюдений Тихо Браге, Кеплер установил законы движения планет вокруг Солнца. Но Кеплер не сумел объяснить динамику движения. Почему планеты обращаются вокруг Солнца именно по таким законам?

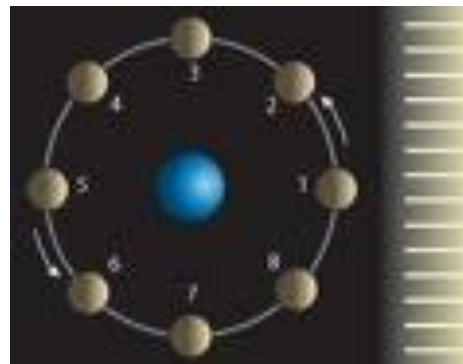
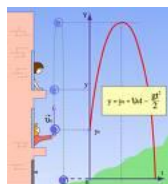
Закон всемирного тяготения 1667



Исаак Ньютон (1643—1727)

Исаак Ньютон открыл этот закон в возрасте 23 лет, но целых 9 лет не публиковал его, так как имевшиеся тогда неверные данные о расстоянии между Землей и Луной не подтверждали его идею. Лишь в 1667 году, после уточнения этого расстояния, закон всемирного тяготения был наконец-то отдан в печать.

Ньютон предположил, что ряд явлений, казалось бы ни имеющих ничего общего, вызваны одной причиной



Движение Луны вокруг Земли

Падение тел на Землю



Приливы и отливы



Движение планет вокруг Солнца



История открытия закона



Яблоня Ньютона

На склоне своих дней Исаак Ньютон рассказал, как это произошло: он гулял по яблоневому саду в поместье своих родителей и вдруг увидел Луну в дневном небе. И тут же на его глазах с ветки оторвалось и упало на землю яблоко. Тут ему и пришло в голову, что, возможно, это одна и та же сила заставляет и яблоко падать на землю, и Луну оставаться на околоземной орбите.

Вывод закона всемирного тяготения

1. Зависимость силы тяготения от массы тела

$$F_1 = m_1 g$$

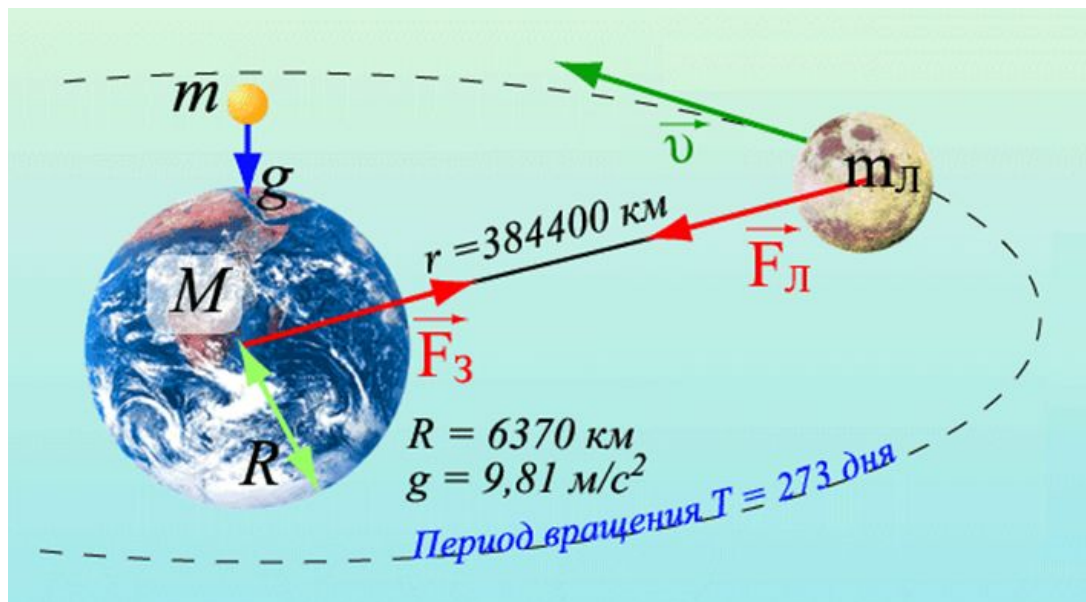
$$g - \text{const}$$

$$F_1 = F_2$$

$$F \sim m_1 \cdot m_2$$

Вывод закона всемирного тяготения

2. Зависимость силы тяготения от расстояния



Центростремительное ускорение Луны равно:

$$a_{цс} = \frac{v^2}{r} = \frac{4\pi^2 r}{T^2} = 2,7 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}^2$$

$$R = 60 R_3$$

$$\frac{g}{a} = \frac{9,8}{0,0027} = 60^2 \implies F \sim \frac{1}{R^2}$$

Вывод закона всемирного тяготения

$$F \sim m_1$$

$$F \sim m_2$$

$$F \sim \frac{1}{R^2}$$

$$F \sim \frac{m_1 \cdot m_2}{R^2}$$

Закон всемирного тяготения

Сила взаимного притяжения двух тел прямо пропорциональна произведению масс этих тел и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними

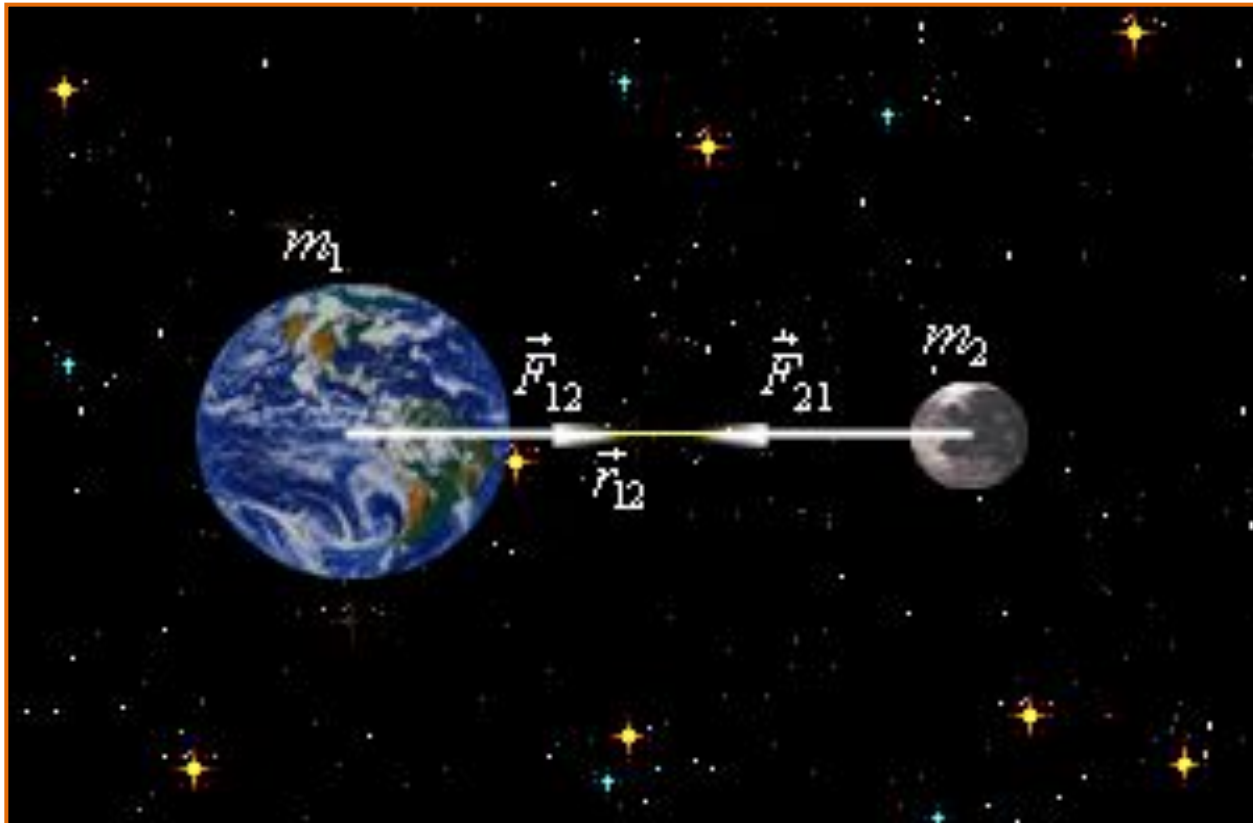
$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{R^2}$$

m_1 , m_2 - массы взаимодействующих тел,

R – расстояние между ними,

G – гравитационная постоянная

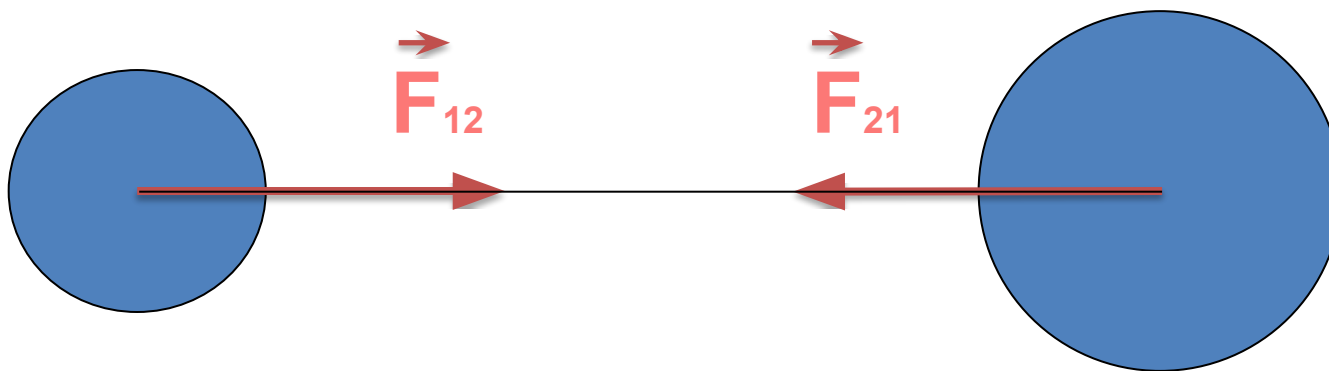
Сила тяготения между Землей и Луной



$$\mathbf{F}_{12} = \mathbf{F}_{21}$$

Особенности сил тяготения

Силы тяготения направлены вдоль прямой, проходящей через центры взаимодействующих тел.



$$F_{12} = F_{21}$$

Гравитационная

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

Физический смысл гравитационной постоянной.

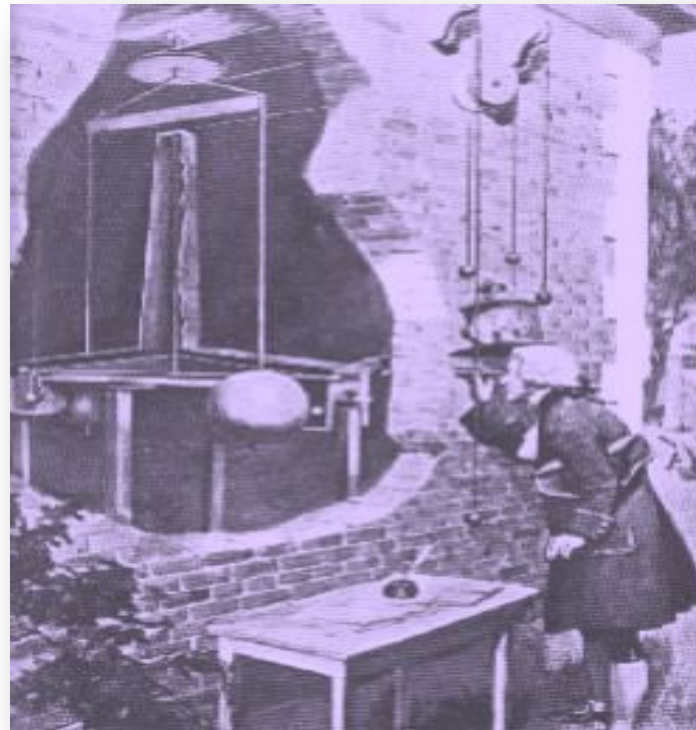
Гравитационная постоянная численно равна силе гравитационного притяжения двух тел, массой по 1 кг каждое, находящихся на расстоянии 1 м одного от другого.

Первое экспериментальное измерение гравитационной постоянной было осуществлено Генри Кавендишем в 1798 году.

Опыт Кавендиша



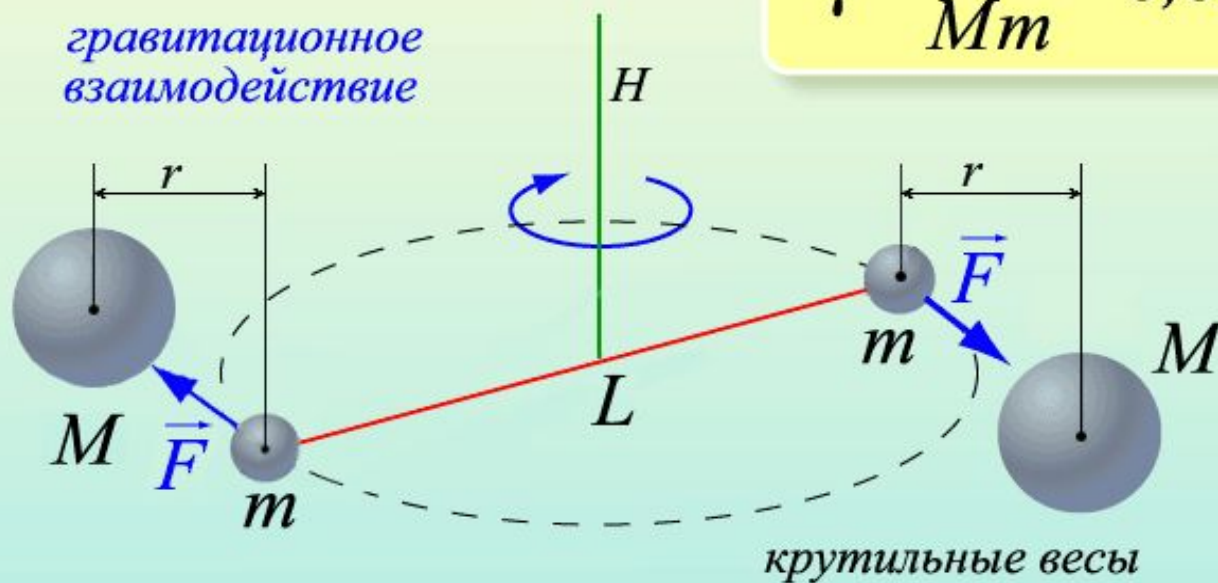
Генри
Кавендиш



Экспериментальная установка – крутильные весы

Опыт Кавендиша

$$\gamma = \frac{Fr^2}{Mm} = 6,65 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$$



H – тонкая нить

L – двухметровый стержень

m – свинцовые шары (диаметром 5 см и массой 775 г)

M – свинцовые шары (диаметром 20 см и массой 49,5 кг)

r – расстояния между большими и малыми шарами

G – гравитационная постоянная, она численно равна силе гравитационного притяжения двух тел массой по 1 кг, находящихся на расстоянии 1 м одно от другого.

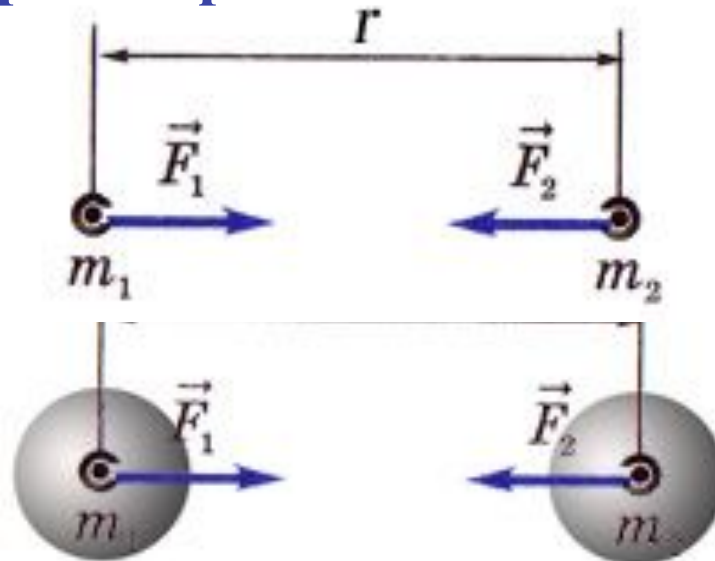
$$G=6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$$

Сила взаимного притяжения тел всегда направлена вдоль прямой, соединяющей эти тела.

Границы применимости закона

Закон всемирного тяготения имеет определенные границы применимости; он применим для:

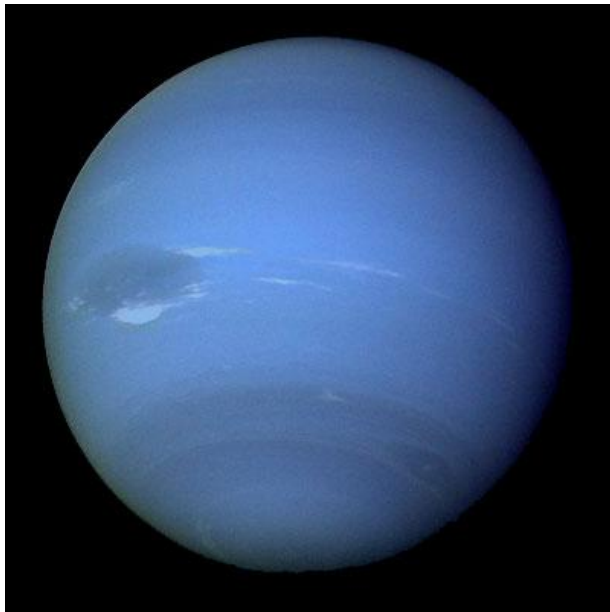
- 1) материальных точек;
- 2) тел, имеющих форму шара;
- 3) шара большого радиуса, взаимодействующего с телами, размеры которых много меньше размеров шара.



Открытие Ньютоном закона всемирного тяготения явилось важнейшим событием в истории физики.

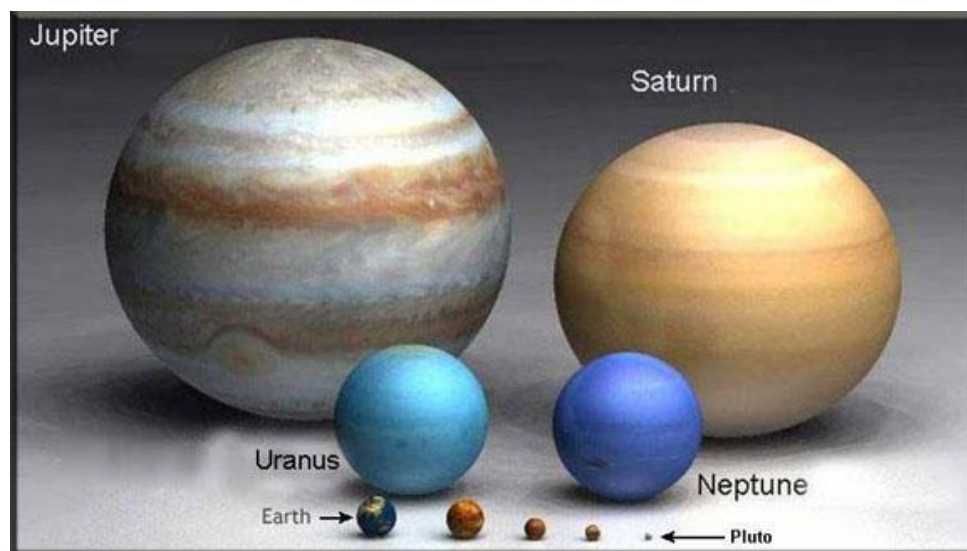
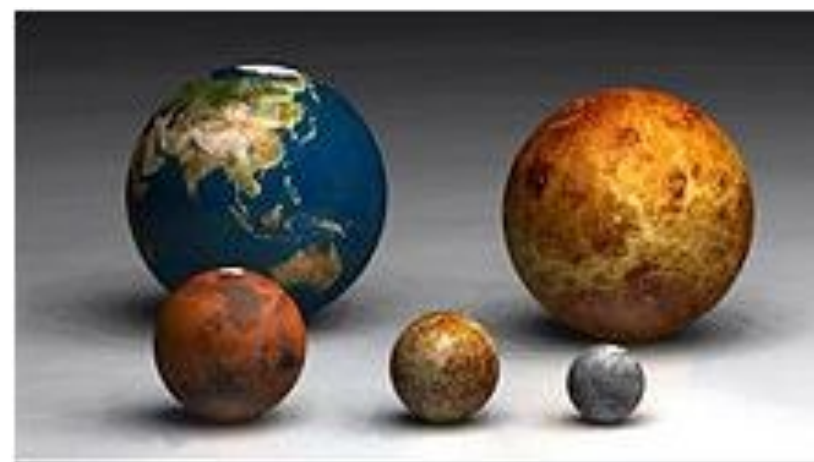
На основе закона всемирного тяготения:

- открыты планеты Нептун и Плутон



На основе закона всемирного тяготения:

- определены массы Солнца, планет и других небесных тел



На основе закона всемирного тяготения:

- раскрыты загадки движения комет, тайны приливов



На основе закона всемирного тяготения:

- вычисляются параметры движения космических аппаратов, искусственных спутников Земли

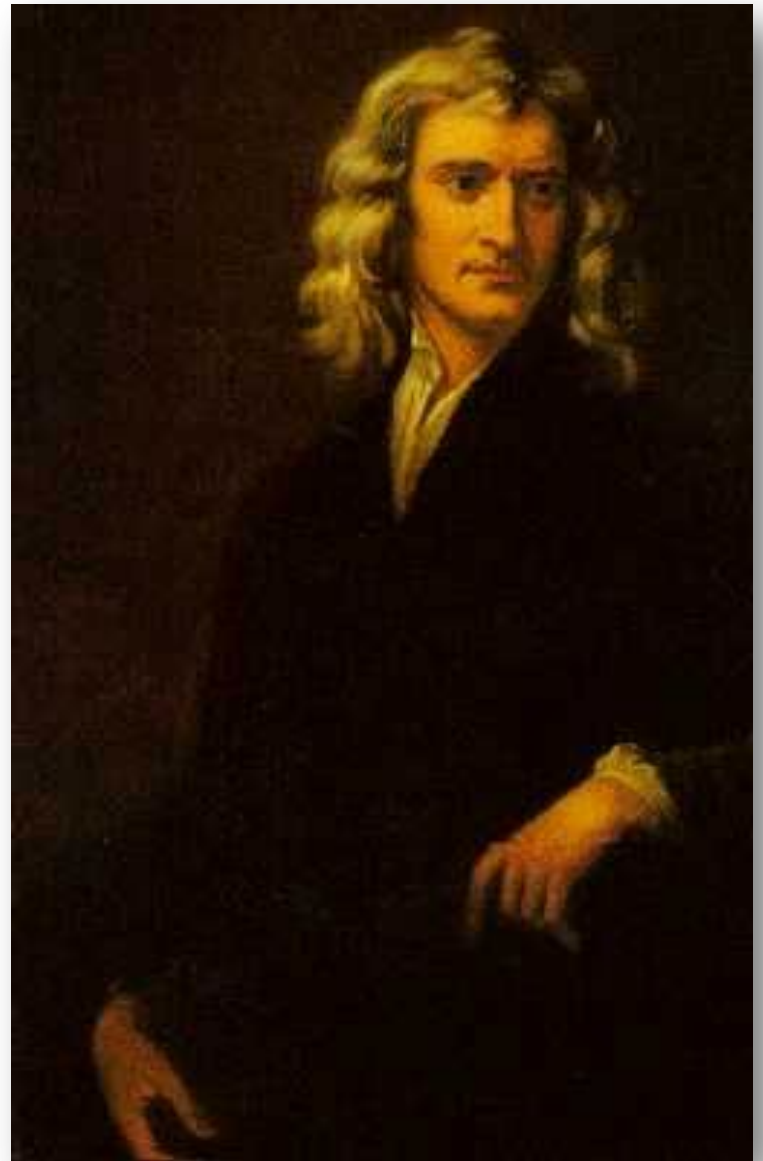


Ньютон показал, что с единой точки зрения можно охватить весь механизм мировых явлений - от вращения неподвижных звезд до перемещения химических атомов.

Д.И.

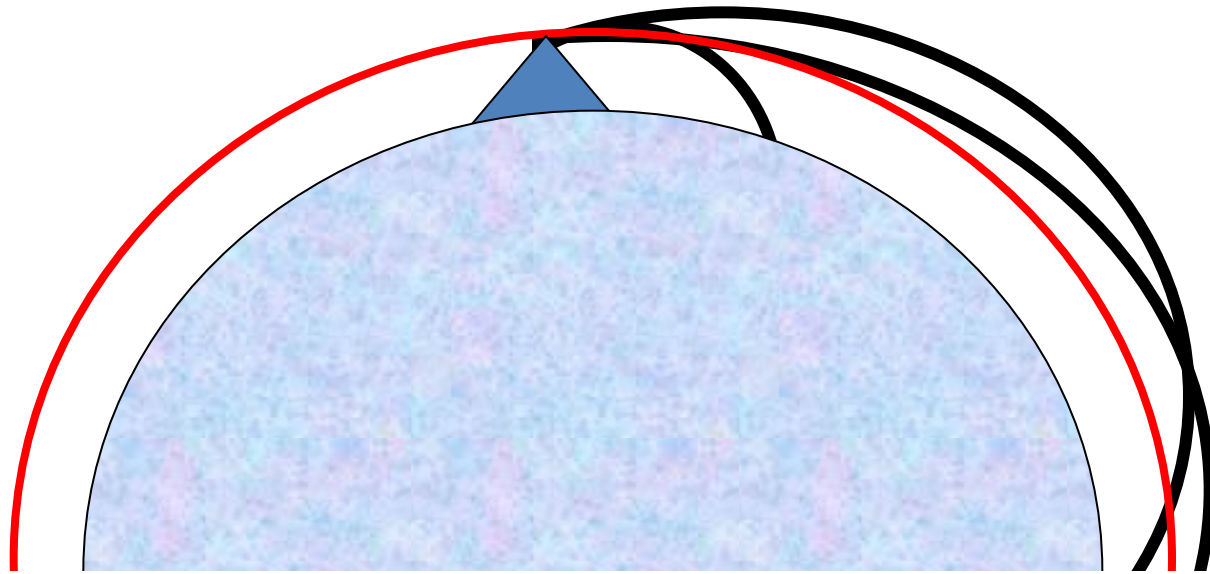
Менделеев

Он самый счастливый – систему мира можно установить только один раз.





На вопрос о том, какова природа сил тяготения, Ньютон отвечал: «Не знаю, а гипотез измышлять не желаю».



- Любое тело, брошенное с некоторой высоты над землей, движется к земле с ускорением g .
- Чтобы тело начало вращаться вокруг земли, g должно быть равно:

$$a_{ц.с.} = \frac{v^2}{R_3}$$

$$a_{ц} = \frac{v^2}{r}$$

v - модуль скорости
 r - радиус окружности

$$r = R + h$$

$$a_{ц} = g$$

$$g = \frac{v^2}{r}$$

\Rightarrow

$$v^2 = gr$$

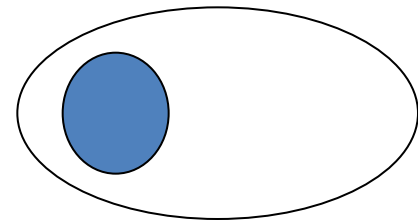
$$v = \sqrt{gr}$$

- Первая космическая
скорость (круговая)

$$g = \frac{v_o^2}{R_3} \rightarrow v_o = \sqrt{gR_3}$$

Скорость рассчитанная по этой формуле называется **первой космической скоростью**.
Она равна **7,9 км/с**.

$$v_o = \sqrt{g_1 (R_3 + h)}$$



Если тело находится на большой высоте над Землей.

Расчет первой космической скорости

Если $h < R_3$, то $r = R_3$

g_0 – ускорение свободного падения вблизи поверхности Земли.

Подставим в формулу V_1 :

где $R_3 = 6,4 * 10^6$ м

$g_0 = 9,8$ м/с²

$V = 7,9$ км/с – Первая космическая скорость

Космические скорости

Первая и вторая космические скорости

$$v_1 = \sqrt{\frac{GM}{R}}$$

7,9 км/с.

$$v_2 = v_1\sqrt{2}$$

$$v_2 = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$$

11,2 км/с

Чем больше масса и чем меньше радиус небесного тела, тем больше его космические скорости

2,3,4 космические скорости

- 11,2 км/с – скорость при которой тело преодолевает поле тяжести Земли и становится искусственной планетой.
- 16,6 км/с - минимально необходимая скорость тела без двигателя, позволяющая преодолеть притяжение Солнца и в результате уйти за пределы Солнечной системы в межзвёздное пространство.
- 31,8 км/с – скорость, позволяющая телу покинуть Млечный Путь – нашу галактику.

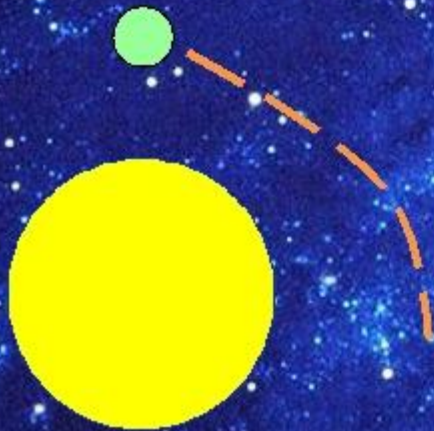
Основные выводы

- **Третья космическая скорость** — это минимальная скорость, которую нужно сообщить телу, чтобы оно смогло покинуть Солнечную систему.

$$v_3 = \sqrt{(\sqrt{2} - 1)^2 v^2 + v_2^2}$$

- **Четвертая космическая скорость** — это минимальная скорость, которую нужно сообщить телу, чтобы оно смогло покинуть галактику Млечный Путь.

$$v_4 = \sqrt{\varphi}$$



Самая высокая скорость

Третья космическая скорость равна 16,7 км/с, которая необходима для преодоления телом притяжения Солнца и выхода за пределы Солнечной системы

Первым космическим аппаратом, достигшим 3-й космической скорости, позволяющей выйти за пределы Солнечной системы, стал «Пионер-10». Ракета-носитель «Атлас-СЛВ 3С» с модифицированной 2-й ступенью «Центавр-Д» и 3-й ступенью «Тиокол-Те-364-4» 2 марта 1972 г. покинула Землю с небывалой для того времени скоростью 51682 км/ч.

Четвертая космическая скорость

Четвертая космическая скорость — это минимальная скорость, которую нужно сообщить телу, чтобы оно смогло покинуть галактику Млечный Путь.

$$v_4 = \sqrt{\varphi}$$

Где φ — гравитационный потенциал.
Гравитационный потенциал может меняться в зависимости от положения в галактике и момента времени.

Вблизи Солнца: $v_4 = 550$ км/с



$V > 11,2$ км/сек.
(гипербола)

$V = 11,2$ км/сек.
(парабола)

$7,9 < V < 11,2$ км/сек.
(эллипс)

$V = 7,9$ км/сек.
(круговая
орбита)

$V < 7,9$ км/сек.
(траектория тела,
падающего на Землю)



- 1. Масса Юпитера $1,9 \cdot 10^{27}$ кг, его $R=7,13 \cdot 10^7$ м. Чему равно ускорение свободного падения для планеты Юпитер?
- 2. Определите скорость движения спутника вокруг Земли по круговой орбите на высоте, равной радиусу Земли, если первая космическая скорость у поверхности Земли равна 8 км/с.

- 3. Масса и радиус планеты соответственно в 2 раза больше, чем у Земли. Чему равна первая космическая скорость для этой планеты?
- 4. Масса Луны примерно в 100 раз меньше массы Земли, а ее диаметр в 4 раза меньше диаметра Земли. Сравните силы тяжести, действующие на тела одинаковой массы на Земле и на Луне.