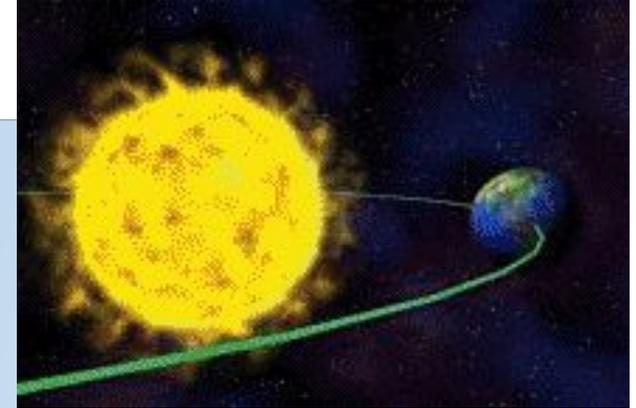


# **П.9. Закон всемирного тяготения. Сила тяжести.**

# ГРАВИТАЦИОННОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ

– универсальное взаимодействие, свойственное всем телам Вселенной и проявляющееся в их взаимном притяжении друг к другу.



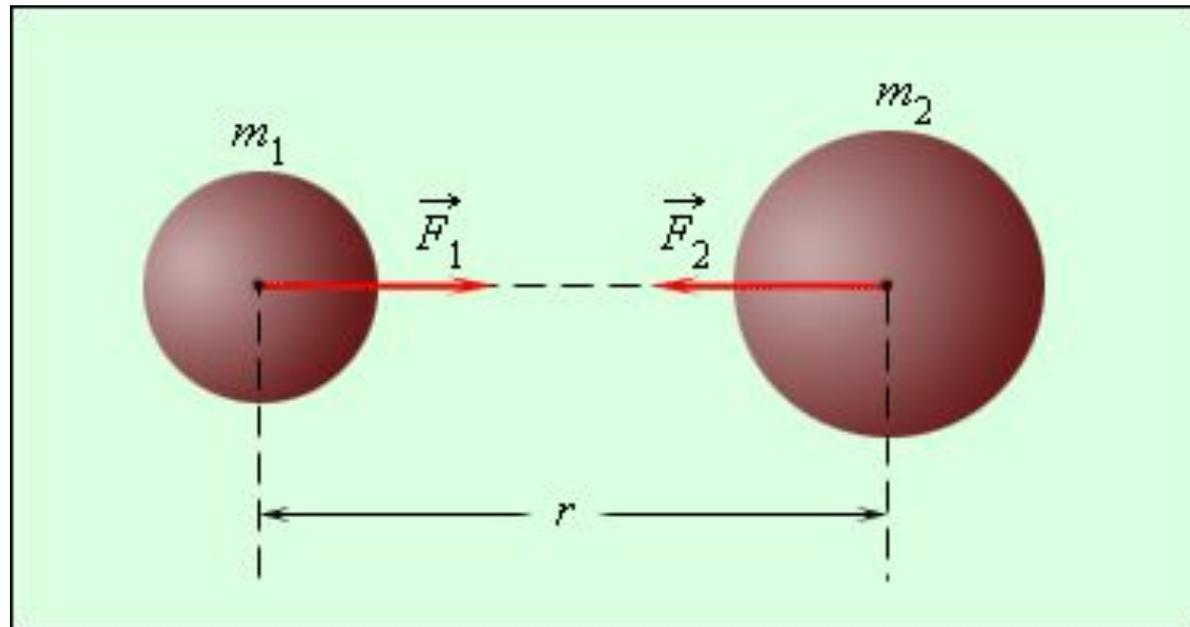
Является одним из четырех типов фундаментальных взаимодействий

- гравитационное,
- слабое,
- электромагнитное,
- сильным

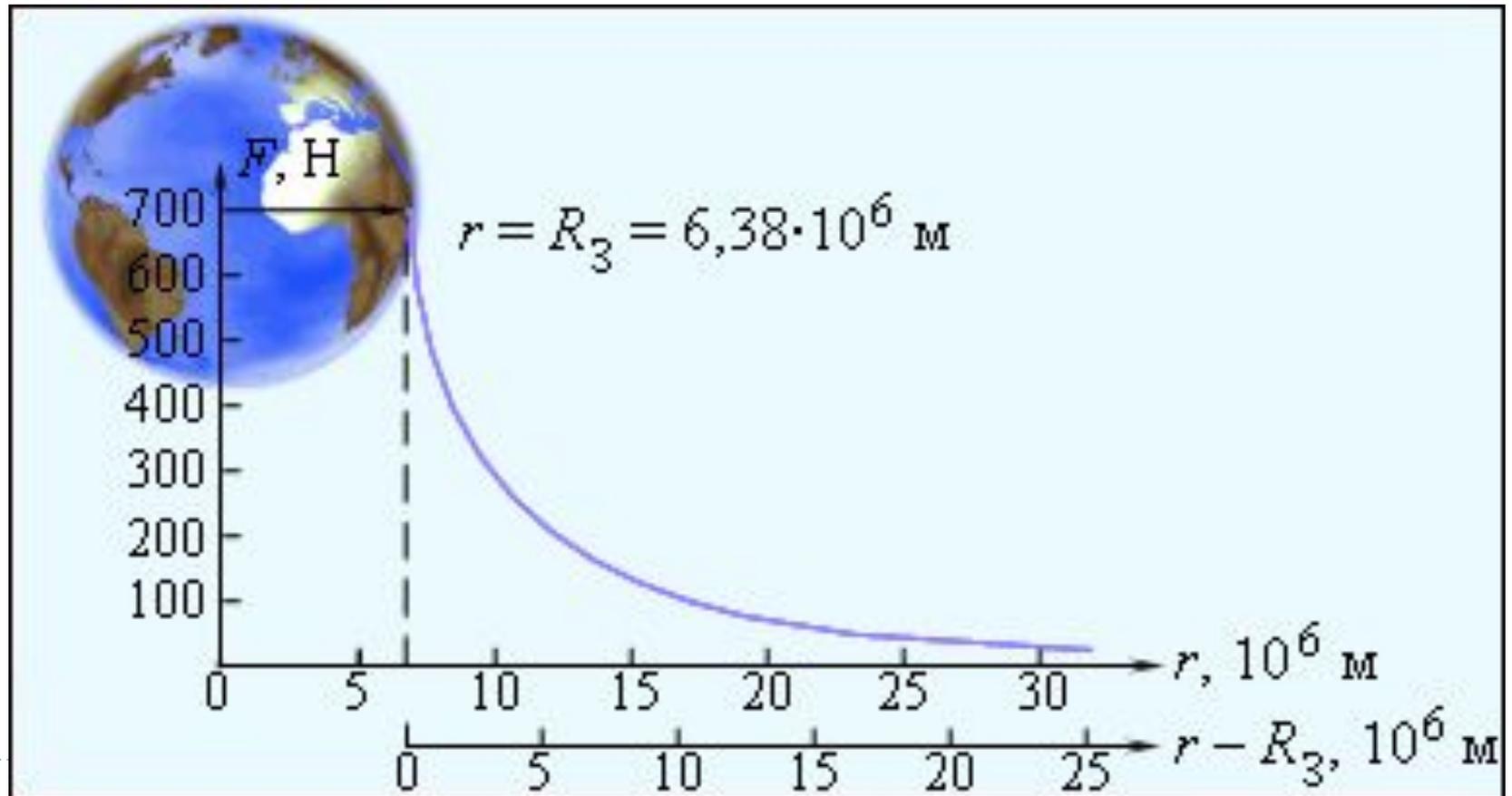
В случае не слишком большой интенсивности и при медленном движении тел ( $v \ll c$ ) гравитационное взаимодействие подчиняется закону всемирного тяготения (И. Ньютон, 1687).

В общем случае гравитационное взаимодействие тел описывается общей теорией относительности (А. Эйнштейн, 1915).

Закон всемирного тяготения был открыт И. Ньютоном в 1682 году. Еще в 1665 году 23-летний Ньютон высказал предположение, что силы, удерживающие Луну на ее орбите, той же природы, что и силы, заставляющие яблоко падать на Землю. По его гипотезе между всеми телами Вселенной действуют силы притяжения (гравитационные силы), направленные по линии, соединяющей центры масс. У тела в виде однородного шара центр масс совпадает с центром шара.



При удалении от поверхности Земли сила земного тяготения и ускорение свободного падения изменяются обратно пропорционально квадрату расстояния  $r$  до центра Земли. Рисунок иллюстрирует изменение силы тяготения, действующей на космонавта в космическом корабле при его удалении от Земли.



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

$F$  – сила гравитационного притяжения  
 $m_1, m_2$  – массы взаимодействующих тел, кг  
 $r$  – расстояние между телами  
(центрами масс тел), м  
 $G$  – коэффициент (гравитационная  
постоянная)  $\approx 6,7 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$

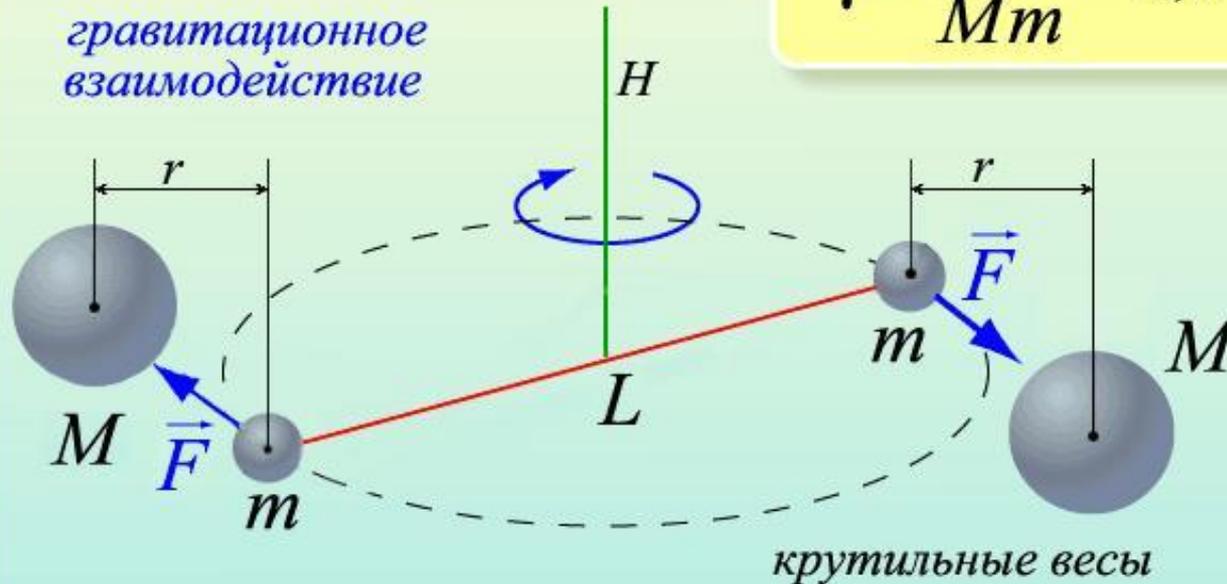
## **ЗАКОН ВСЕМИРНОГО ТЯГОТЕНИЯ**

– сила гравитационного притяжения любых двух частиц (материальных точек) прямо пропорциональна произведению их масс и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними.

Английский ученый лорд Кавендиш в 18 веке проделал опыт по измерению гравитационной постоянной с помощью крутильных весов. Этот опыт доказал также, что гравитационное взаимодействие существует между любыми телами.

## 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)

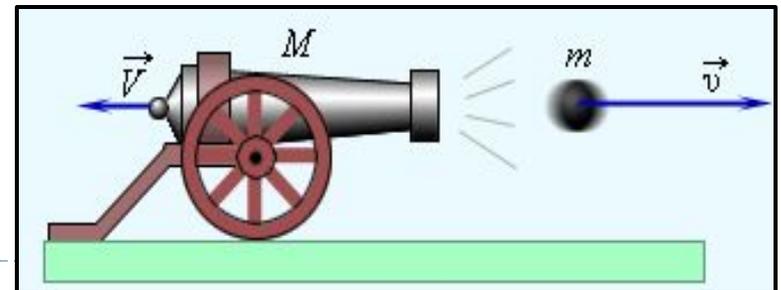
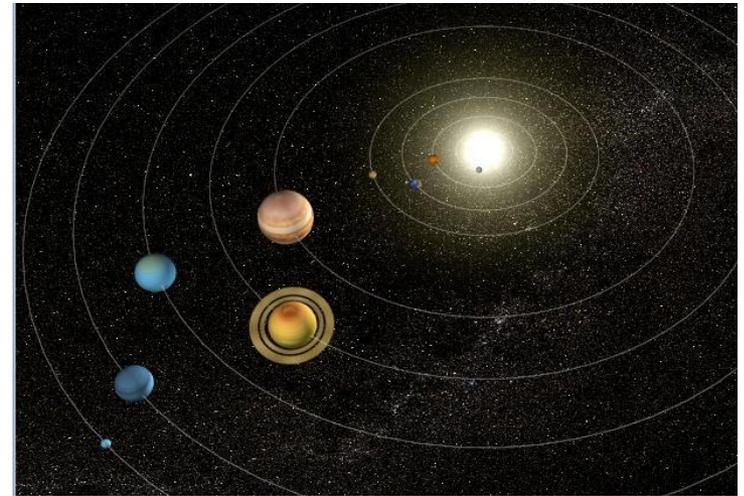
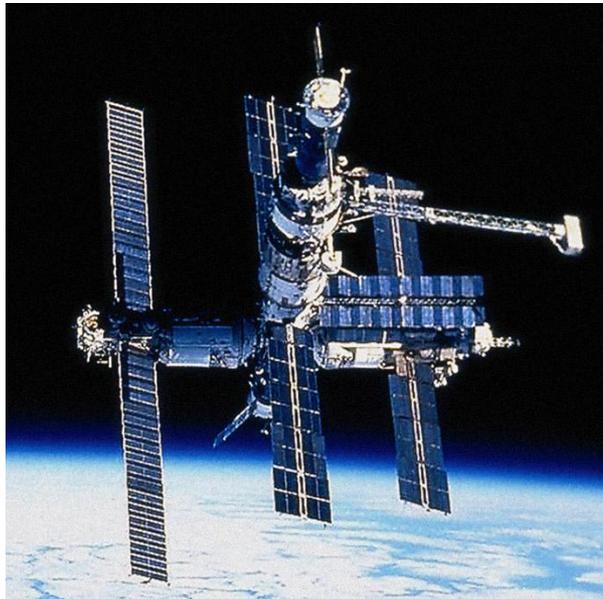
*r* – расстояния между большими и малыми шарами

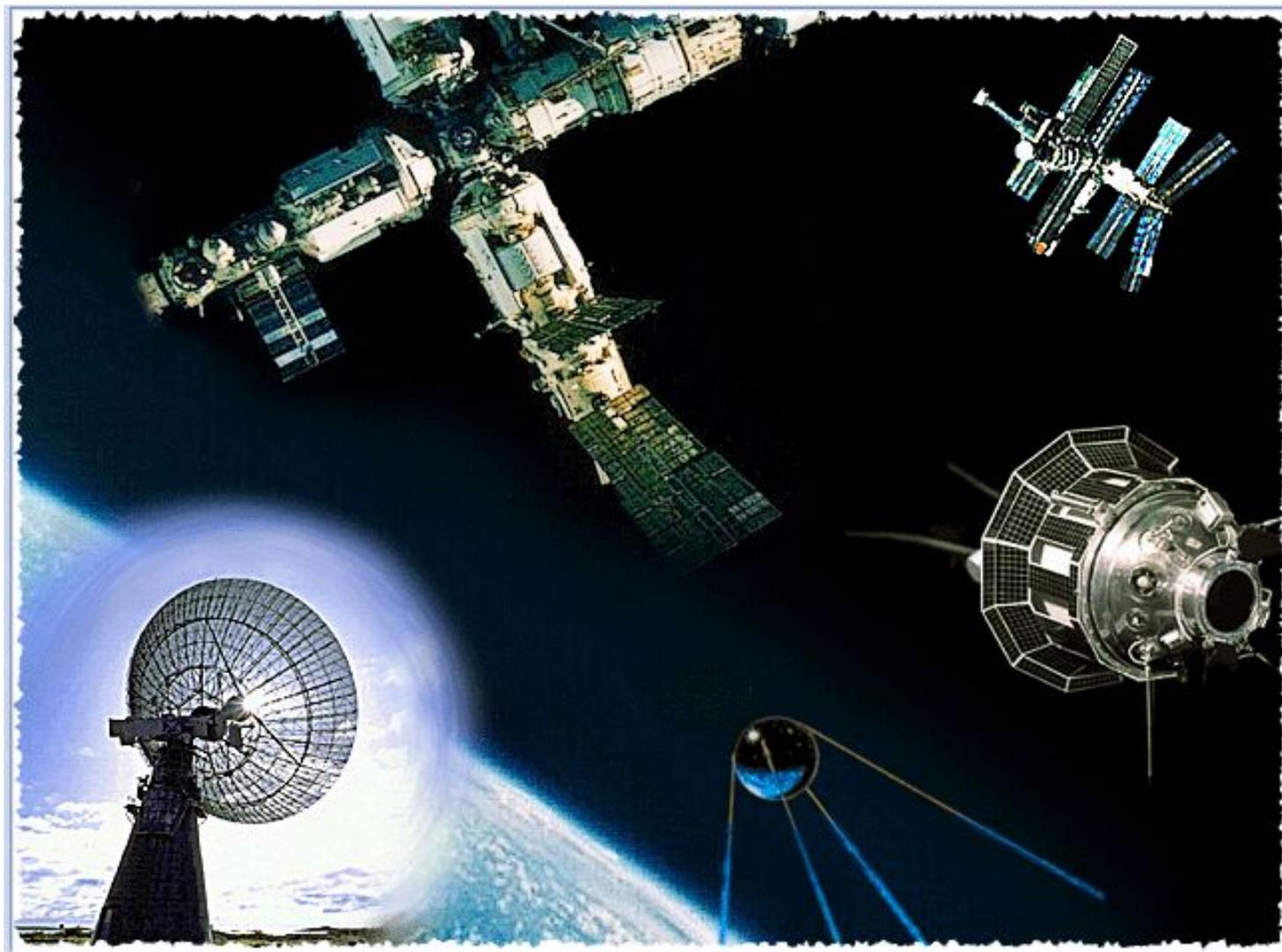
**G** – коэффициент (гравитационная постоянная)  $\approx 6,7 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$

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



Многие явления в природе объясняются действием сил всемирного тяготения. **Движение планет в Солнечной системе, искусственных спутников Земли, траектории полета баллистических ракет, движение тел вблизи поверхности Земли** – все они находят объяснение на основе закона всемирного тяготения и законов динамики.

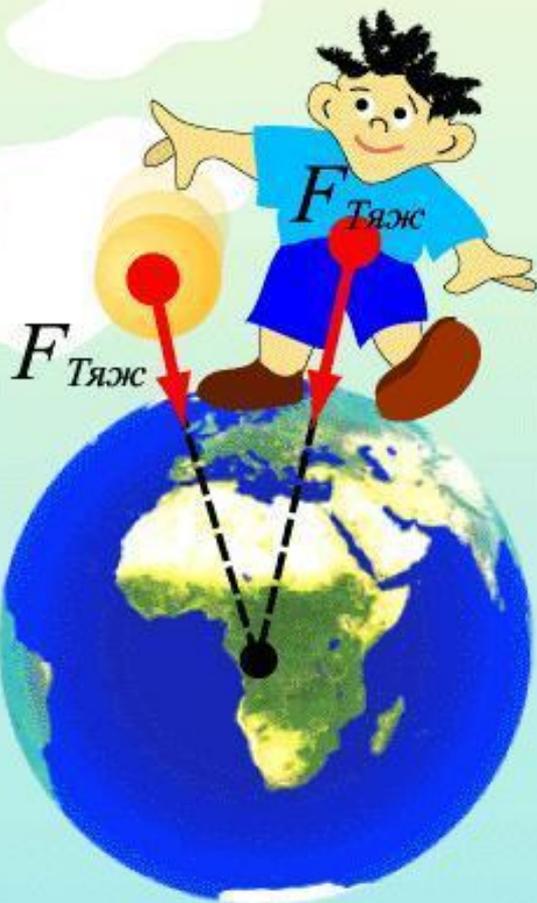




Под действием гравитационных сил планеты Солнечной системы удерживаются возле Солнца. Притягивая к себе спутники, Земля заставляет их вращаться по околоземным орбитам. Сила тяготения на поверхности Земли вызывает такое знакомое всем явление, как падение.

# Сила тяжести

– сила, действующая на все тела со стороны Земли



$$F_{\text{Тяж}} = mg$$

В каждой точке вокруг Земли сила тяжести направлена вниз, то есть к центру планеты.

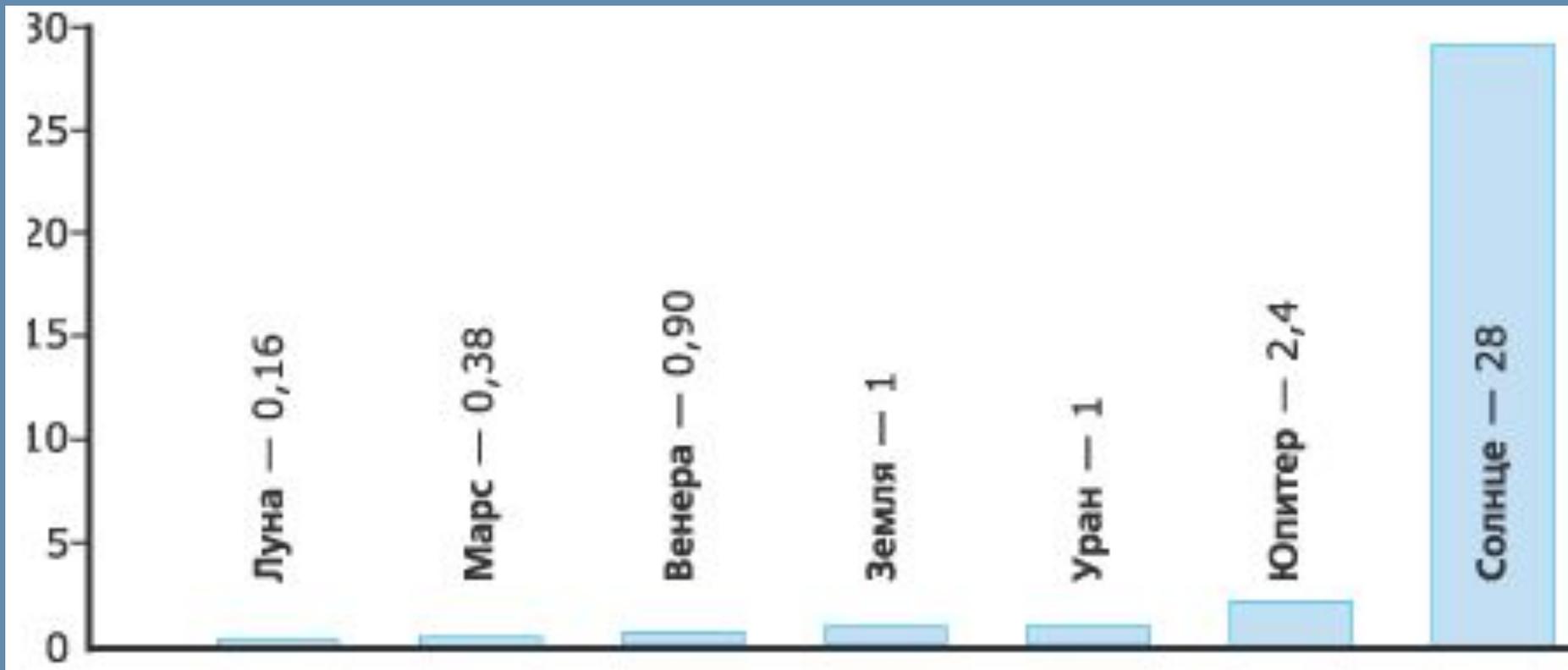
Одним из проявлений силы всемирного тяготения является **сила тяжести**.

$$F_{\text{тяж}} = g \cdot m$$

$F_{\text{тяж}}$  – сила тяжести, Н

$m$  – масса тела, кг

$g$  – ускорение свободного падения,  
м/с<sup>2</sup> (м/с<sup>2</sup>=Н/кг)



## Диаграмма

"Сила тяжести на разных планетах"

**Вопрос:**

▶ с чем связано такое различие

Если  $M$  – масса Земли,  $R_3$  – ее радиус,  $m$  – масса данного тела, то сила тяжести равна

$$F = G \frac{M}{R_3^2} m = mg,$$

где  $g$  – **ускорение свободного падения** у поверхности Земли:

$$g = G \frac{M}{R_3^2}$$

$$g = G \frac{M}{(R_3 + h)^2}$$



$$g \cong G \cdot \frac{M_3}{R_3^2} \cong 9,8 \text{ м/с}^2$$

- $g$  – ускорение свободного падения,  $\text{м/с}^2$   
 $G$  – гравитационная постоянная,  $\text{Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$   
 $M_3$  – масса Земли,  $\text{кг}$   
 $R_3$  – радиус Земли,  $\text{м}$

The background of the slide is a dark space filled with numerous small, bright stars. Several planets are depicted: Uranus (greenish), Neptune (blue), Saturn (yellowish with rings), Jupiter (orange and white bands), Mars (reddish), Earth (blue and white), Venus (yellowish), Mercury (greyish), and the Moon (grey). Each planet is associated with a callout box containing its surface gravity value.

$g_{\text{Урана}} = 8,7 \text{ м/с}^2$

$g_{\text{Нептуна}} = 12,1 \text{ м/с}^2$

$g_{\text{Сатурна}} = 15,2 \text{ м/с}^2$

$g_{\text{Плутона}} = 0,53 \text{ м/с}^2$

$g_{\text{Юпитера}} = 25,0 \text{ м/с}^2$

$g_{\text{Марса}} = 3,7 \text{ м/с}^2$

$g_{\text{Земли}} = 9,81 \text{ м/с}^2$

$g_{\text{Венеры}} = 8,85 \text{ м/с}^2$

$g_{\text{Луны}} = 1,63 \text{ м/с}^2$

$g_{\text{Меркурия}} = 3,73 \text{ м/с}^2$

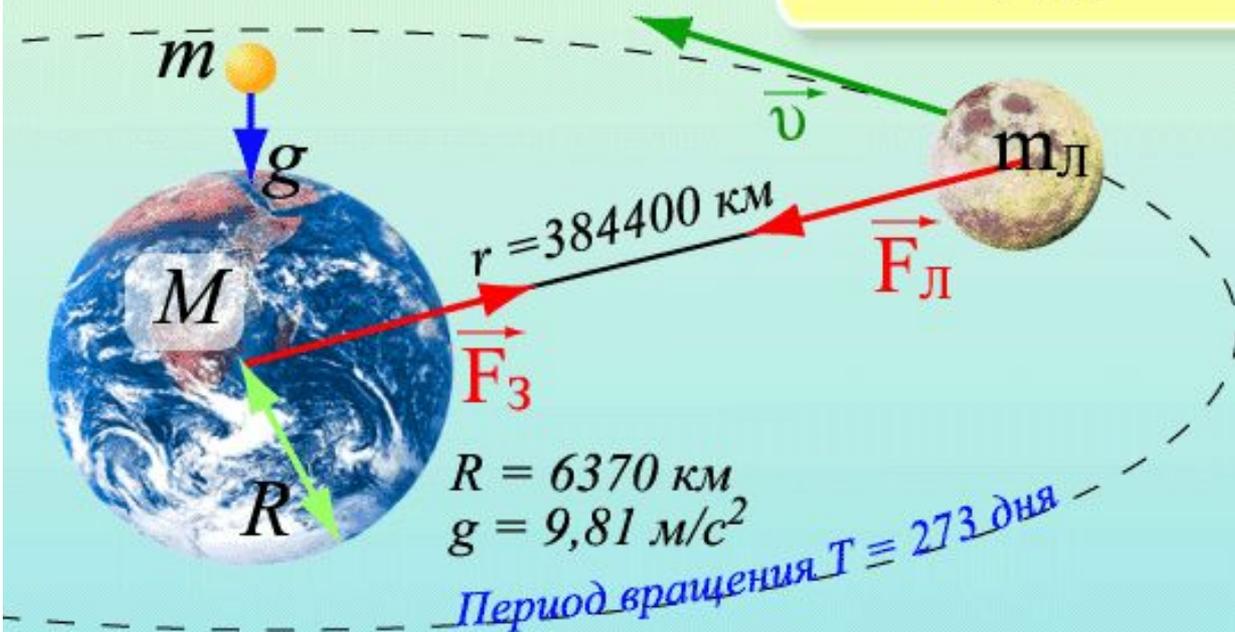
# Центростремительное ускорение Луны

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

$$m_{Л} a = \gamma \frac{M m_{Л}}{r^2}$$

$$m g = \gamma \frac{m M}{R^2}$$

$$a = g \left( \frac{R}{r} \right)^2 \approx 2,7 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}^2$$



Совпадение  $a_{цс}$  и  $a$  убедило Ньютона в справедливости закона

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

# Давайте закрепим!

---

Два тела массой  $10^3$  кг и  $2 \cdot 10^3$  кг находятся друг от друга на расстоянии  $R$  и притягиваются с силой  $F$ . Чему равна сила притяжения тел массой  $2 \cdot 10^3$  кг и  $4 \cdot 10^3$  кг, находящихся на том же расстоянии  $R$ .

1.  $F$
2.  $2F$
3.  $4F$
4.  $8F$

Два тела массой  $m_1 = m$  и  $m_2 = 2m$  падают в безвоздушном пространстве.  
Сравните ускорения  $a_1$  и  $a_2$  этих тел.

1.  $a_1 = 2a_2$
2.  $a_1 = a_2$
3.  $a_2 = 2a_1$
4.  $a_1 = 4a_2$



# Попробуем

---

определить минимальный период  $T_{\min}$  обращения спутника нейтронной звезды, плотность вещества которой  $\rho = 10^{17}$  кг/м<sup>3</sup>.

