

**Законы Ньютона позволяют решать различные практически важные задачи, касающиеся взаимодействия и движения тел.**

К выводу о существовании сил всемирного тяготения пришел Ньютон в результате изучения движения Луны вокруг Земли и планет вокруг Солнца.

# Силы в природе

## Четыре типа сил

1. Гравитационные
2. Электромагнитные
3. Сильные (ядерные)
4. Слабые

# Сравнение сил

- ◆ Ядерные силы – самые мощные в природе.
- ◆ Электромагнитные взаимодействия в 100 раз слабее ядерных сил.
- ◆ Гравитационные взаимодействия слабее ядерных в  $10^{40}$  раз.
- ◆ Слабые взаимодействия слабее ядерных в  $10^{-16}$  раз.

МЕХАНИКА



ИЗЛОЖЕНИЕ

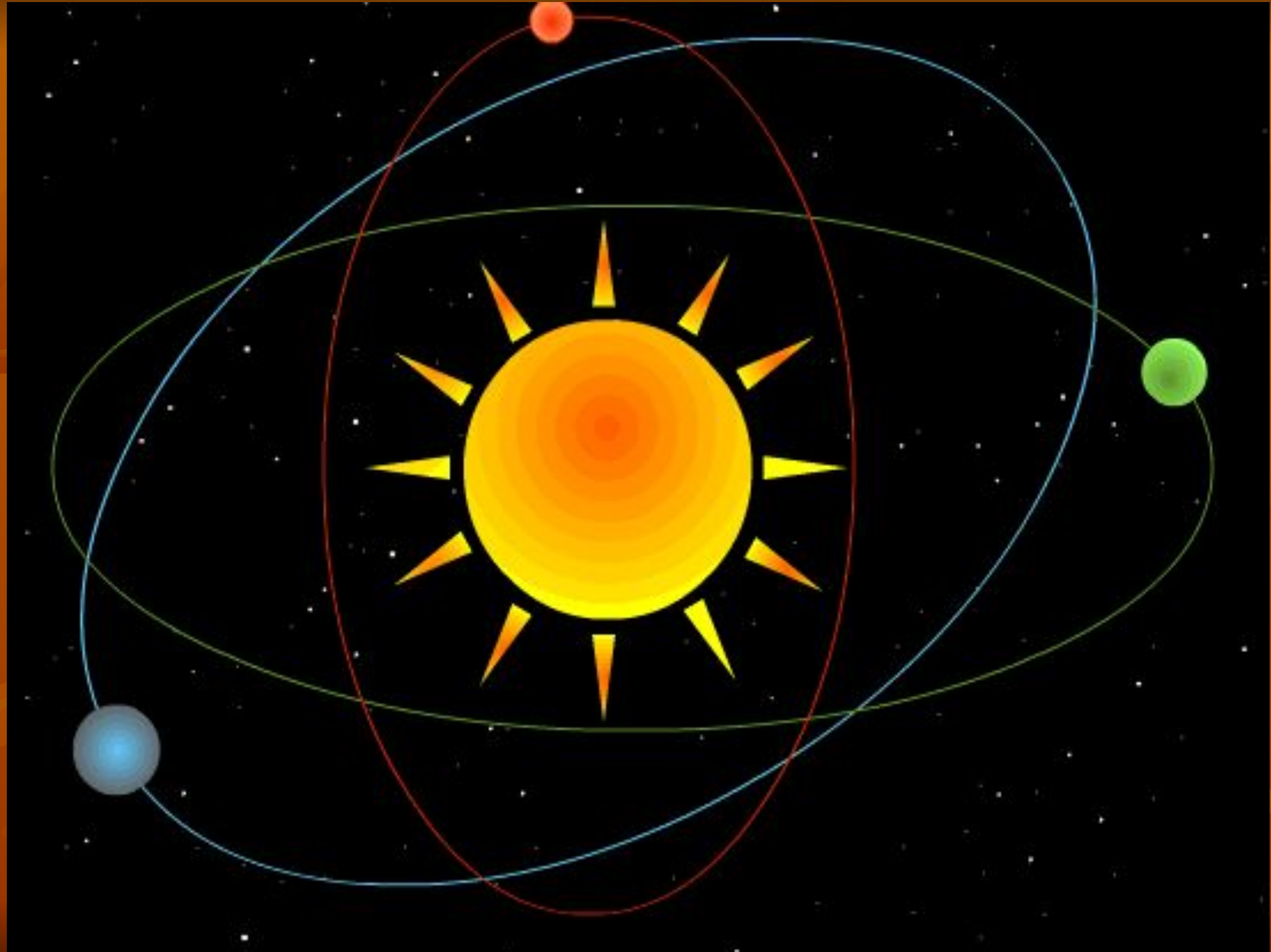
# В механике мы имеем дело с тремя силами

- **Сила тяготения** ← Гравитационная природа
- **Сила трения**
- **Сила упругости** ← Электромагнитная природа

В 1667 году Ньютон  
сформулировал  
закон всемирного тяготения.

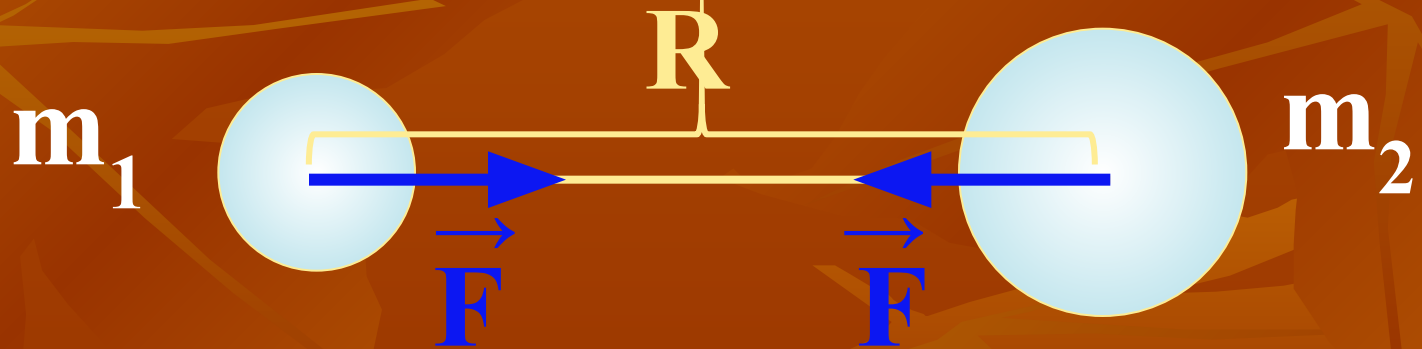
$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{R^2}$$

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



**Закон тяготения сформулирован  
для материальных точек в  
вакууме.**

**Он также справедлив для  
однородных тел, имеющих  
шарообразную форму.**





**Силы гравитационного  
взаимодействия направлены  
вдоль линии, соединяющей  
центры масс.**

**Такого рода силы называются  
центральными.**

# Частным видом силы всемирного тяготения является сила притяжения к Земле.

Согласно закону всемирного тяготения:

$$F = G \frac{m \cdot M}{(R + h)^2}, \text{ где}$$

- $m$  – масса тела;
- $M$  – масса Земли;  $M = 5,98 \cdot 10^{24}$  кг
- $R$  – радиус Земли;  $R = 6\,370$  км
- $h$  – высота тела над поверхностью Земли.

Земля действует на тела с некоторой силой, называемой силой тяжести, пропорциональной массе тела

$$\vec{F}_T = m\vec{g}$$



Земля сообщает всем телам у поверхности одно и то же ускорение  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$

Покажем, что ускорение  
свободного падения  $g$  не зависит  
от массы тела.

Согласно 2-му закону Ньютона  $F = ma$ ,  
но в нашем случае  $F = F_T = mg$ .

Тогда, учитывая предыдущую формулу:

$$mg = G \frac{m \cdot M}{(R + h)^2} \Rightarrow g = G \frac{M}{(R + h)^2}$$

# Найдем модуль ускорения свободного падения на поверхности Земли ( $h = 0$ ).

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



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

- Из формулы видно, что ускорение свободного падения не зависит от массы тела. Оно уменьшается при подъеме тела над поверхностью Земли.
- Если высота  $h$  над поверхностью Земли не превышает **100 км**, то при расчетах, допускающих погрешность  $\approx 1,5\%$ , этой высотой **можно пренебречь** по сравнению с радиусом Земли.

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

$$mg = G \frac{m \cdot M}{(R + h)^2} \Rightarrow$$

# Ускорение свободного падения зависит от географической широты.

- Земля сплюснута у полюсов. Экваториальный радиус Земли больше полярного на 21 км.  $\Rightarrow$   $g$  больше на полюсах, чем на экваторе.
- Из-за вращения Земли вокруг своей оси  $g$  во всех местах, кроме экватора и полюсов, не направлено точно к центру Земли.

# Расчет первой космической скорости

- Вычислим скорость, которую надо сообщить телу, чтобы оно стало искусственным спутником Земли.
- В этом случае тело движется по приблизительно круговой орбите вокруг Земли на некоторой высоте  $h$  над Землей.
- Будем считать, что на тело действует только одна гравитационная сила, направленная к центру Земли (сопротивлением воздуха пренебрегаем).

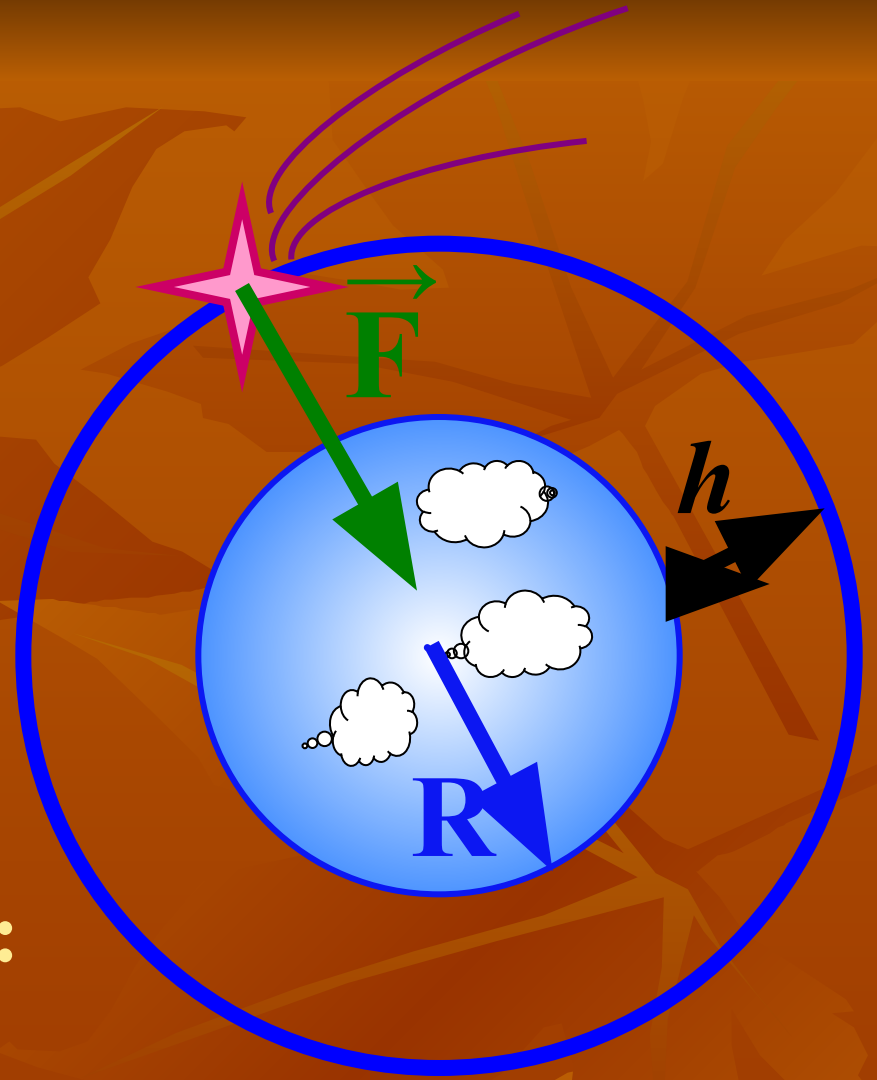


Гравитационная сила  
сообщает спутнику  
центростремительное  
ускорение.

$$a = \frac{v^2}{R + h}$$

По 2-му закону Ньютона:

$$F = ma = G \frac{m \cdot M}{(R + h)^2}$$



Решаем систему уравнений:

$$a = \frac{V^2}{R + h}$$

$$ma = G \frac{m \cdot M}{(R + h)^2} \Rightarrow \frac{mV^2}{R + h} = G \frac{m \cdot M}{(R + h)^2}$$

$$V = \sqrt{\frac{G \cdot M}{R + h}}$$

$$V = \sqrt{\frac{G \cdot M}{R + h}}$$

- Скорость спутника зависит от высоты полета над Землей  $h$  и не зависит от его массы  $m$ .
- Если принять  $h = 0$ , то у поверхности Земли:

$$V = \sqrt{\frac{G \cdot M}{R}}$$

- Если сопротивление воздуха не учитывать, то тело с такой скоростью, заданной ему в горизонтальном направлении, *перпендикулярно радиусу планеты*, становится спутником Земли.

# Величины, необходимые для решения задач.

Масса Земли	$M = 5,98 \cdot 10^{24} \text{ кг}$
Радиус Земли	$R = 6\,370 \text{ км}$
Гравитационная постоянная	$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$
Ускорение свободного падения	$g = 9,8 \text{ м / с}^2$

Часто бывает очень сложно определить действующие на тело силы. Поэтому для решения многих задач используют еще одну важнейшую физическую величину – **импульс тела**, о котором мы будем говорить на следующем уроке.