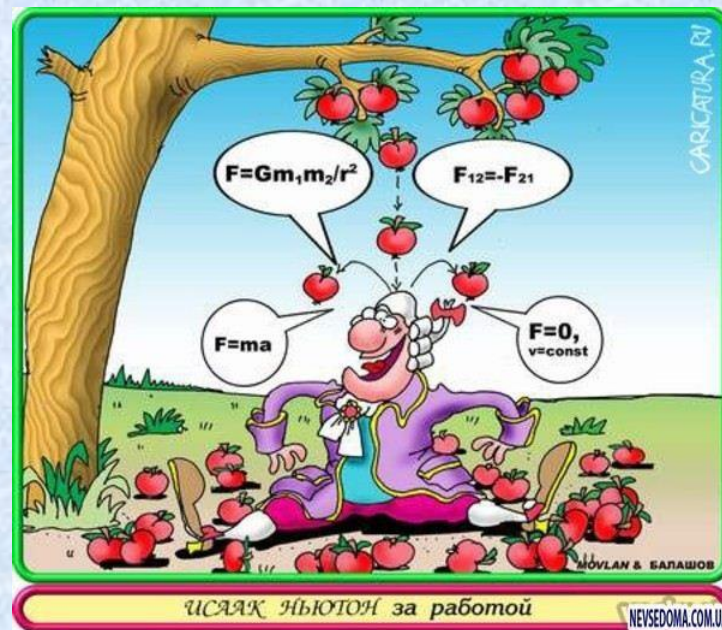
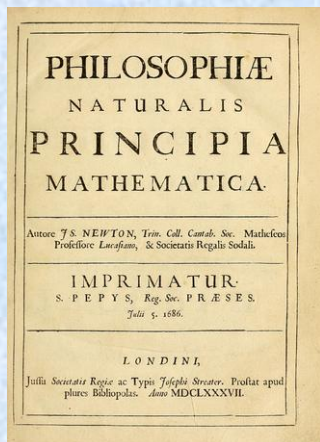


Динамика

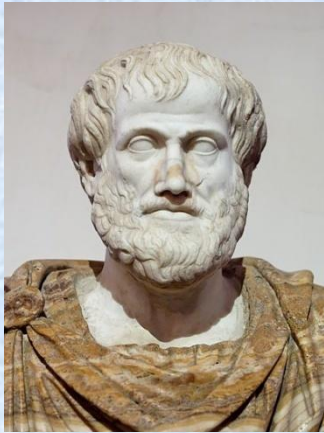
Динамика (греч. $\deltaυνάμις$, сила) – раздел механики, изучающий причины, вызывающие движение тел.

НЬЮТОН «Математические начала натуральной философии», 1686 г.



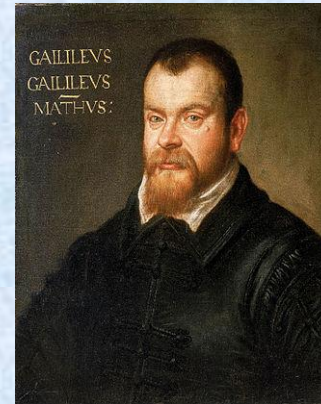
Почему тело движется?

Аристотель, IV в. до н.э.



- Скорость падения пропорциональна весу тела.
- Движение происходит, пока действует «побудительная причина» (сила), и в отсутствие силы прекращается.

Галилей, начало XVII в.

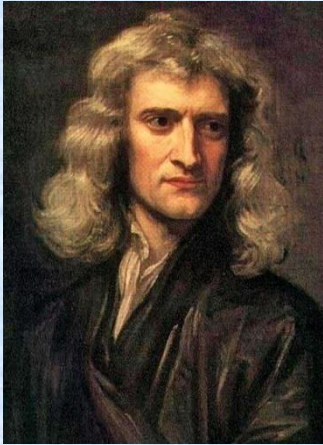


- Ускорение свободного падения не зависит от веса тела.
- При отсутствии внешних сил тело либо покоится, либо равномерно движется.

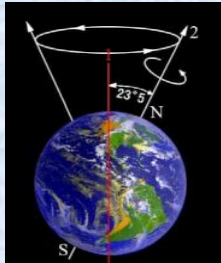
Галилей, пожалуй, больше, чем кто-либо другой из отдельных людей, ответствен за рождение современной науки.

С. Хокинг

Первый закон Ньютона



Существуют такие системы отсчета, относительно которых **свободное тело** (тело, на которое не действуют другие тела) движется равномерно и прямолинейно или находится в состоянии покоя. Такие системы называются **инерциальными (ИСО)**.



Точка на поверхности
Земли $a = 3,4 \text{ см/с}^2$



Центр Земли
 $a = 0,6 \text{ см/с}^2$



Центр Солнца
 $a = 3 \cdot 10^{-8} \text{ см/с}^2$

Второй закон Ньютона

В инерциальных системах отсчета ускорение тела пропорционально действующей на него силе и обратно пропорционально его массе.

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$$



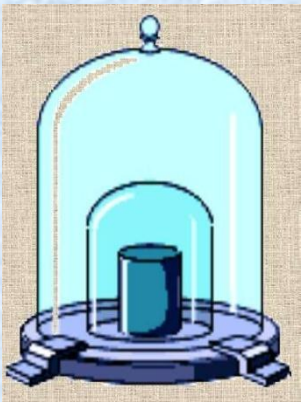
Сила — физическая величина, являющаяся мерой воздействия на данное тело со стороны других тел.

Силы могут действовать при непосредственном контакте тел (трения, давления), или дистанционно через поля (электрические, гравитационные)

Второй закон Ньютона

В инерциальных системах отсчета ускорение тела пропорционально действующей на него силе и обратно пропорционально его массе.

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$$



Масса (инертная) характеризует инертность тел, т.е. «сопротивляемость» изменению скорости.

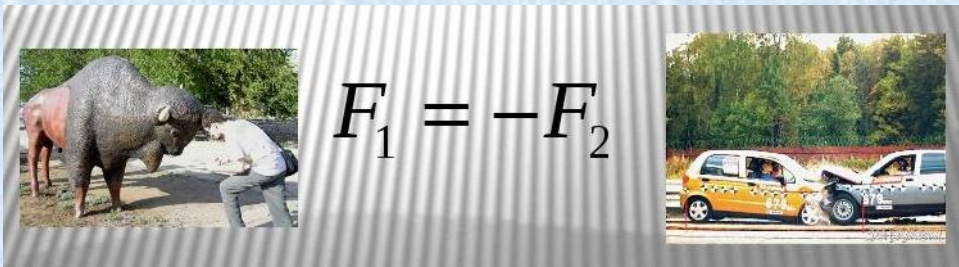
В классической механике:

- Масса – величина аддитивная ($m = m_1 + m_2 + \dots$)
- Масса – величина постоянная, не меняется при движении

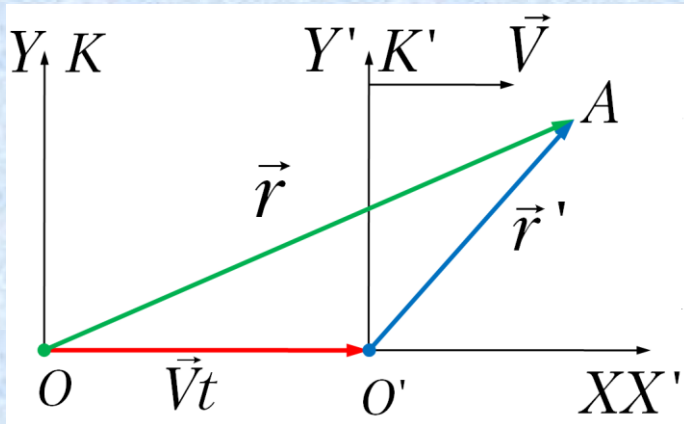
Третий закон Ньютона

Силы, с которыми два тела действуют друг на друга **всегда** равны по модулю и противоположны по направлению.

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$



Преобразования Галилея



Система K' движется относительно системы K с постоянной скоростью \vec{V}

Постулаты

- Абсолютное время протекает равномерно, течение абсолютного времени изменяться не может.
- Абсолютное пространство остаётся всегда одинаковым и неподвижным.

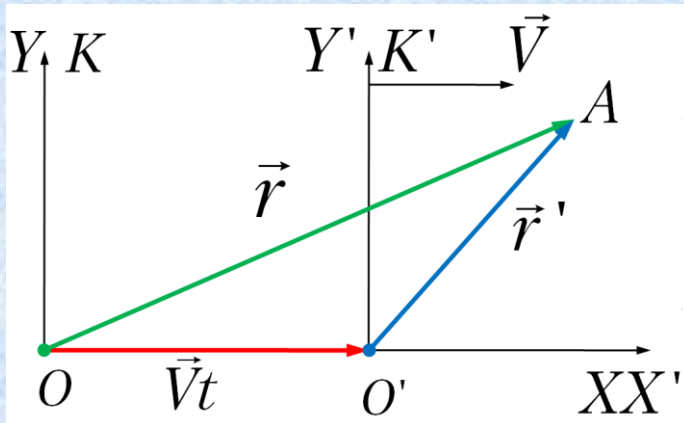
$$t' = t$$

$$x' = x - Vt \quad y' = y \quad z' = z$$

$$v' = v - V$$

$$a' = a$$

Принцип относительности Галилея



$$t' = t$$

$$x' = x - Vt \quad y' = y \quad z' = z$$

$$v' = v - V$$

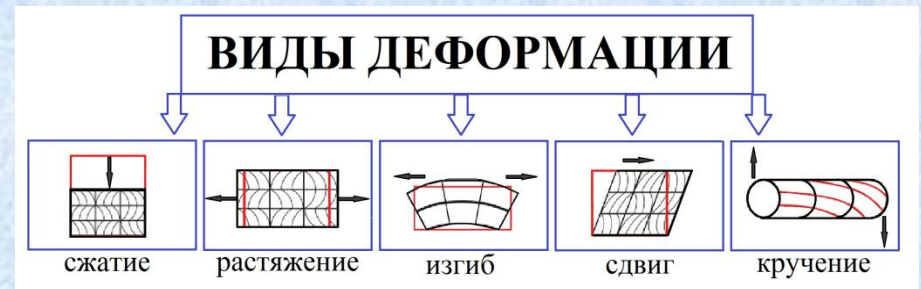
$$a' = a$$

$$m = m' \Rightarrow \vec{F} = \vec{F}'$$

Любая СО, движущаяся с постоянной скоростью относительно ИСО, также является ИСО

Законы **механики** одинаковы во всех инерциальных системах отсчета

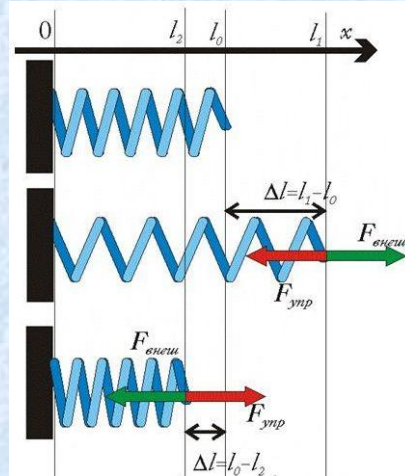
Сила упругости. Деформации



Закон Гука



Роберт Гук
1660 г.



$$\vec{F} = -k\Delta\vec{l}$$
$$F = k\Delta l$$

Относительное
изменение длины $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$

$$\varepsilon = \alpha \frac{F}{S}$$

α – коэф. упругости

F/S – напряжение

$$E = 1/\alpha \text{ – модуль Юнга}$$

$$F = \frac{ES}{l} \Delta l$$

k

Модуль Юнга – напряжение, которое нужно приложить к телу, чтобы удлинить его в два раза.

Вопрос: Зависит ли удлинение пружины от ее длины? ($F = \text{const}$)

Сила трения

Трение

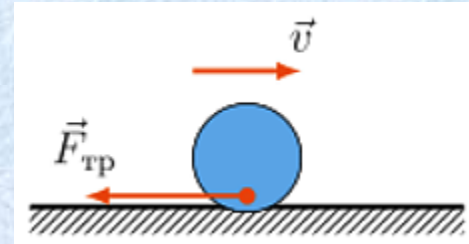
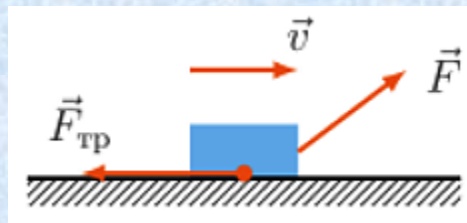
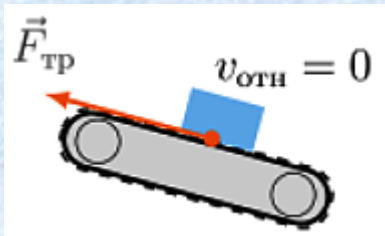
сухое

вязкое

ПОКОЯ

СКОЛЬЖЕНИЯ

качения



Сухое трение

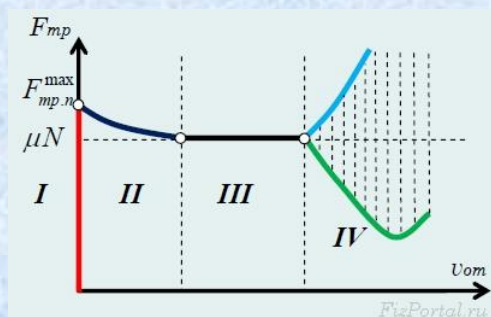
Трение может возникать даже при отсутствии относительного перемещения тел. Это трение покоя.

Максимальная величина силы трения покоя равна силе трения скольжения.



Величина силы трения скольжения пропорциональна силе нормальной реакции опоры. $F = \mu N$.

Коэффициент трения не зависит ни от скорости движения тела, ни от площади соприкасающихся поверхностей.

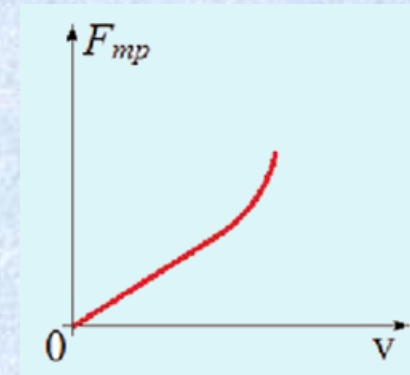


Вязкое трение

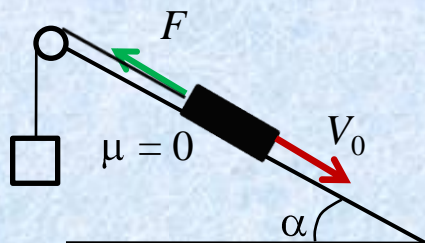
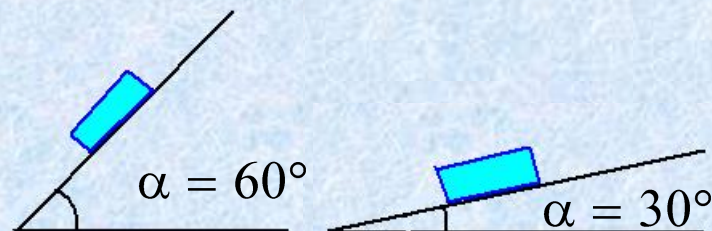
Отсутствует трение покоя.

Сила трения зависит от формы, размера и состояния поверхности движущегося тела.

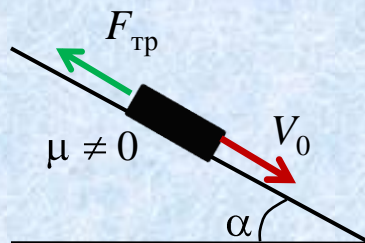
Величина силы трения пропорциональна скорости $F = -k_1 v$.
При больших скоростях $F = -k_2 v^2$.



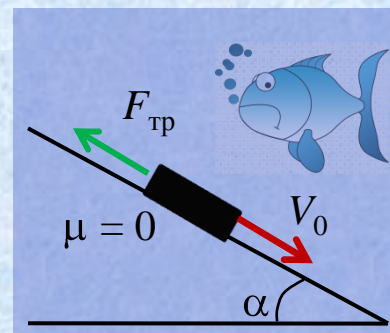
Вопрос: Чему равно отношение сил трения F_1/F_2 для этих двух тел? $\mu = 1$.



Постоянная
сила



Сухое
трение



Вязкое
трение

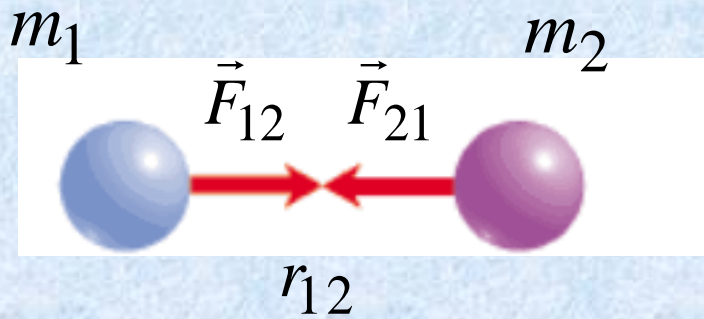
Вопрос: Как зависит от времени скорость тела в этих случаях?

Закон всемирного тяготения

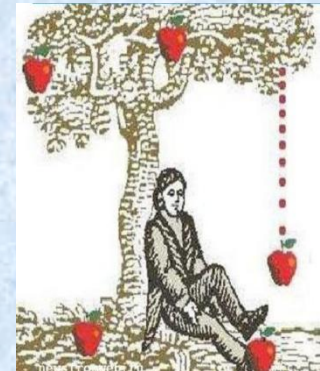
$$F = G \frac{m_1 m_2}{r_{12}^2}$$

$$\vec{F} = G \frac{m_1 m_2}{r_{12}^3} \vec{r}_{12}$$

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



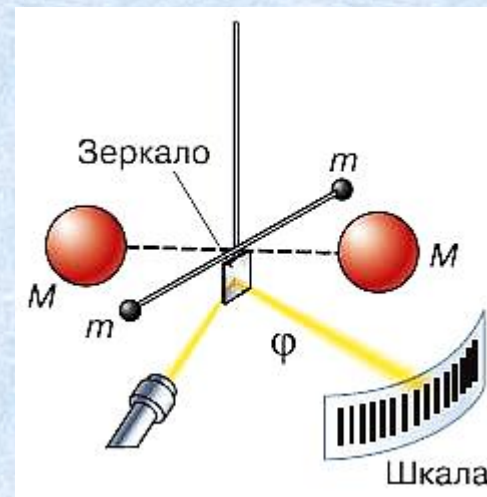
r_{12} — расстояние между центрами масс тел



Эксперимент Кавендиша (1798 г.)



Г. Кавендиш
1731 - 1810



Определена гравитационная постоянная

$$G = 6,71 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 / (\text{кг} \cdot \text{с}^2) \quad [6,67]$$

Рассчитана средняя плотность Земли

$$\rho = 5,48 \cdot 10^3 \text{ кг} / \text{м}^3 \quad [5,52]$$

Масса

Инертная масса – входит в выражение второго закона Ньютона, мера инертности тела

Гравитационная масса – входит в выражение закона всемирного тяготения, мера гравитационного взаимодействия

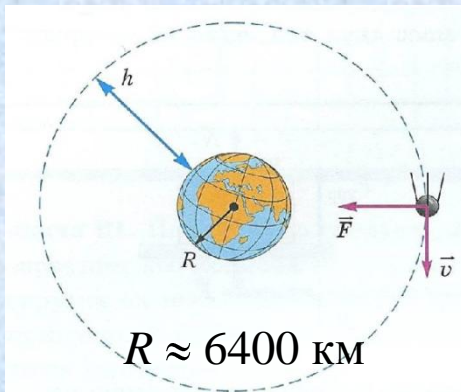
$$m_{\text{ин}} = m_{\text{грав}} \text{ ?}$$

Да, с точностью 10^{-13}

Закон всемирного тяготения



Движение спутников



У поверхности Земли $\frac{GMm}{R_3^2} = mg \Rightarrow g = \frac{GM}{R_3^2}$

$$\frac{GM}{(R_3 + h)^2} = g \frac{R_3^2}{(R_3 + h)^2} = \frac{v^2}{R_3 + h}$$

Первая космическая скорость $h = 0 \Rightarrow v_I = \sqrt{gR_3}$

$$T = \frac{2\pi (R_3 + h)^{3/2}}{R_3 \sqrt{g}}$$

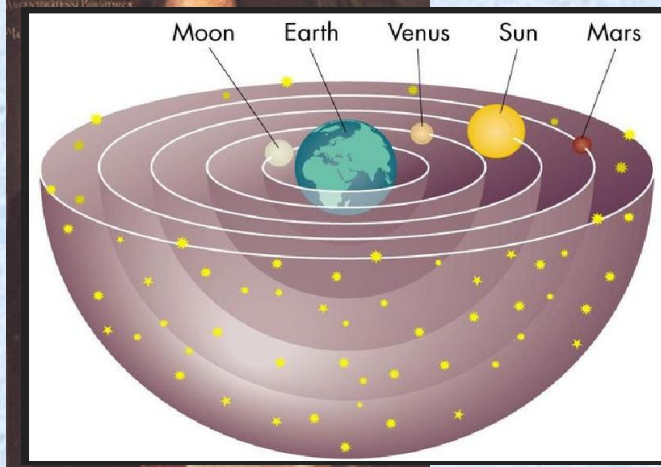
$T = 1 \text{ сут}$ – геостационарная орбита

$$v_I \approx 7,8 \text{ км/с}$$

Вопрос: Почему спутник может висеть над одной точкой только на экваторе?

Законы Кеплера

Геоцентрическая система мира

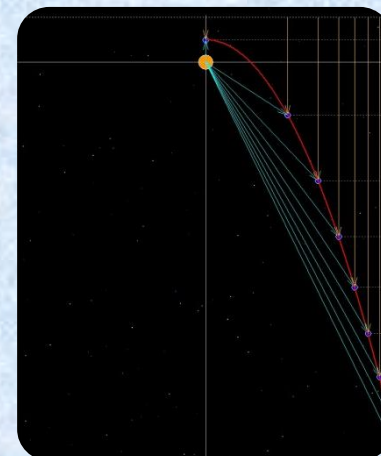
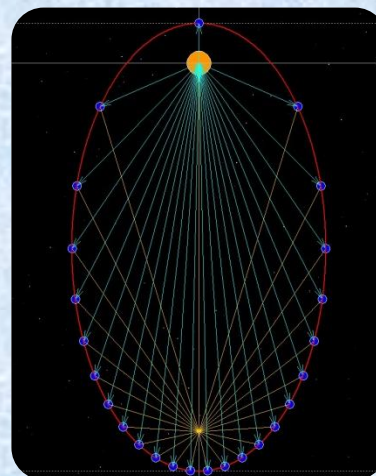
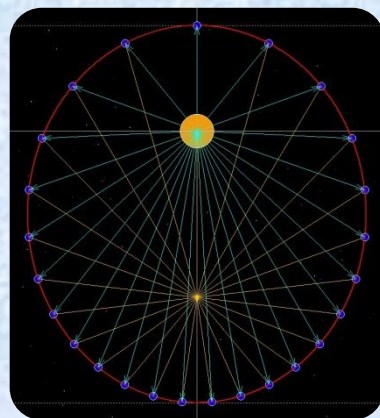
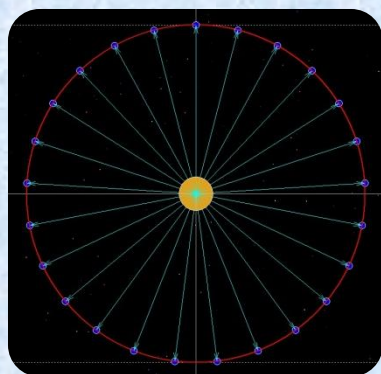


Иоганн Кеплер
1571 – 1630

Тихо Браге
1546 – 1601

Первый закон Кеплера

Каждая планета движется вокруг Солнца по эллипсу, в одном из фокусов которого находится Солнце



Момент импульса

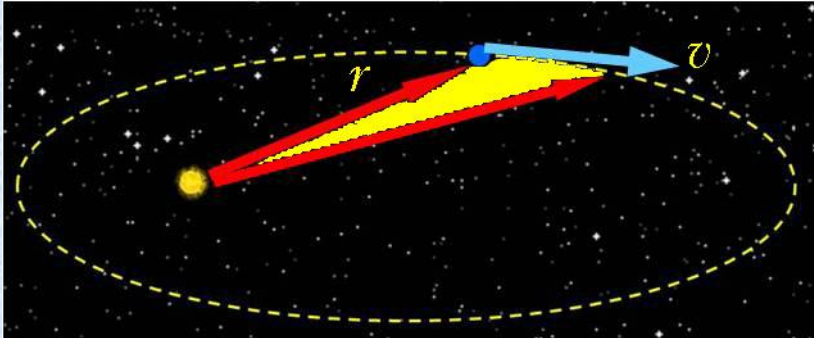
Момент импульса
(угловой момент) $\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p} = \vec{r} \times m\vec{v}$

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \frac{d\vec{r}}{dt} \times m\vec{v} + \vec{r} \times m \frac{d\vec{v}}{dt} \vec{F}$$

В центральном поле $\vec{F} \uparrow\uparrow \vec{r} \Rightarrow \frac{d\vec{L}}{dt} = 0, \quad \vec{L} = \text{const}$

Закон сохранения момента импульса

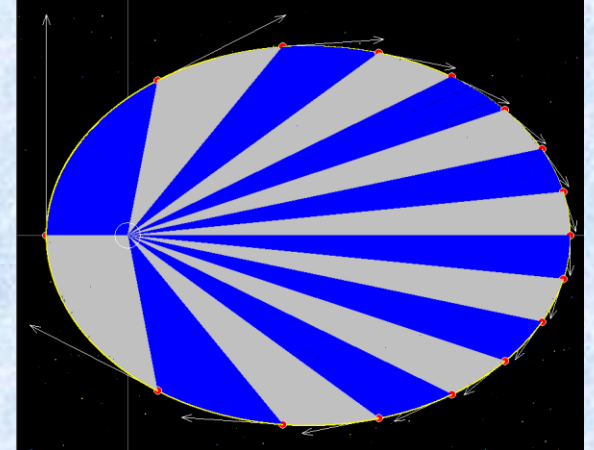
Второй закон Кеплера



$$dS = \frac{1}{2} r \sin \theta v dt = \frac{1}{2} |\vec{r} \times \vec{v}| dt = \frac{|\vec{L}|}{2m} dt$$

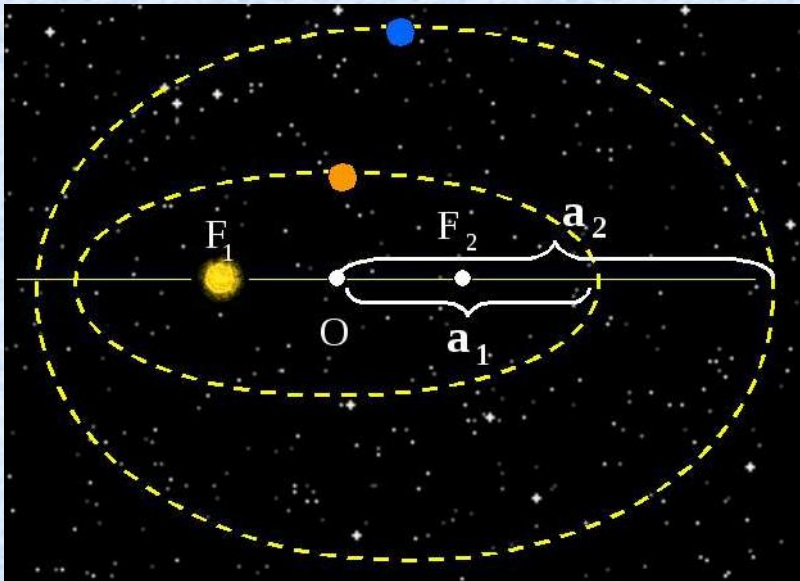
$$\vec{L} = \text{const} \Rightarrow \frac{dS}{dt} = \text{const}$$

Радиус-вектор планеты за равные времена описывает равные площади



Третий закон Кеплера

На круговой орбите: $\frac{GM}{R^2} = \frac{v^2}{R} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{GM}{R}} \quad T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi}{\sqrt{GM}} R^{3/2}$



Квадраты периодов
обращения планет вокруг
Солнца относятся, как
кубы больших полуосей
орбит планет.

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

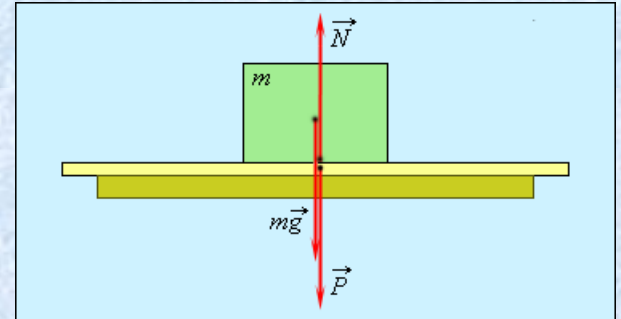
Масса. Вес. Сила тяжести. Невесомость.

Правильно ли написано: «Слон при высоте 2,5-3,5 метров может весить 5000 кг или 5 тонн»?

Вес тела – сила, с которой тело действует на неподвижную относительно него опору или подвес.

III закон Ньютона: $|P| = |N|$

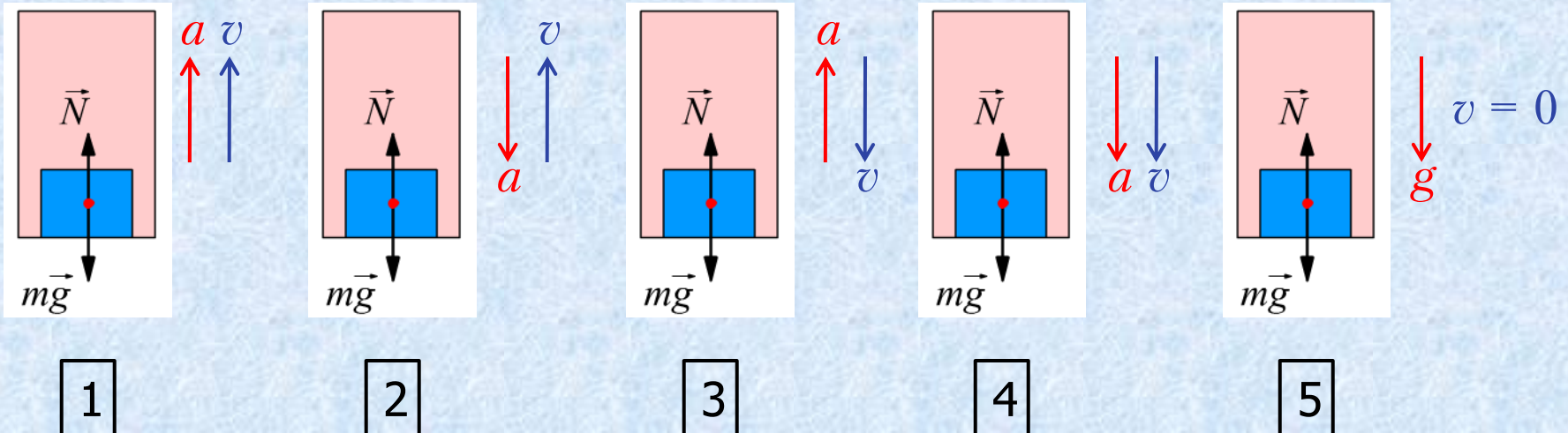
II закон Ньютона: $m\vec{g} + \vec{N} = m\vec{a}$



$P = mg$ только если $a = 0$, т.е. если система отсчета, связанная с телом инерциальная

Вес

Вопрос: Как соотносятся вес тела и сила тяжести в следующих ситуациях?.



Вопрос: Чему равен вес неподвижного тела на наклонной плоскости?.

Вопрос: Может ли вес неподвижного тела быть не сонаправлен силе тяжести?.

Невесомость



Невесомость: исчезновение веса (взаимодействия с опорой) при движении опоры с ускорением свободного падения

Тело под действием внешних сил будет в состоянии невесомости, если

- Действующие силы являются только массовыми (силы тяготения)
- Поле этих сил локально однородно
- Начальные скорости всех частиц тела по модулю и направлению одинаковы

Так что же значит «*идеальный вес
для мужчин и женщин*»?