

Механика

Механика

• **Кинематика**



• **Динамика**



• **Статика**



• **Законы сохранения**



Кинематика

- **Основные понятия**



- **Действия с векторами**



- **Прямолинейное движение**



- **Криволинейное движение**



Действия с векторами

- Сложение векторов



- Вычитание векторов



- Умножение вектора на скаляр



- Проекция векторов




Прямолинейное движение

- **Равномерное**
- **Равноускоренное**
- **Средняя скорость**













Криволинейное движение









- Тело, брошенное вертикально
- Тело, брошенное горизонтально
- Тело, брошенное под углом к горизонту
- Движение тела  окружности



Динамика

- **Явление инерции** 
 - **Законы Ньютона**
 - 1 Закон 
 - 2 Закон 
 - 3 Закон 
 - **Закон всемирного тяготения** 
 - **Сила тяжести** 
 - **Вес тела** 
 - **Космические скорости** 
 - **Сила упругости** 
 - **Сила трения** 
- 

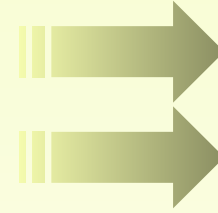
Законы сохранения

- Импульс 
- Закон сохранения импульса 
- Работа 
- Мощность 
- Энергия 
- Кинетическая 
- Потенциальная 
- Закон сохранения энергии 



Статика

- **1 условие равновесия**
- **2 условие равновесия**



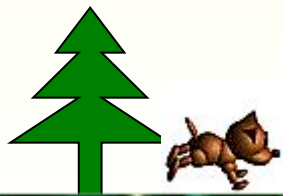
Кинематика

Механическое движение – это изменение положения тела относительно других тел с течением времени.

Основная задача механики – определить положение тела в любой момент времени.

Система отсчета состоит из:

- Тела отсчета
- Системы координат
- Прибора для измерения времени



Кинематика

Кинематика – это раздел механики, который отвечает на вопрос: КАК движется тело?

Перемещение – вектор соединяющий начальное и конечное положение тела.



Траектория – линия, по которой движется тело.

Путь – длина траектории.



Кинематика



Кинематика

Материальная точка – тело, размерами которого можно пренебречь.

Материальной точкой тело можно считать если:

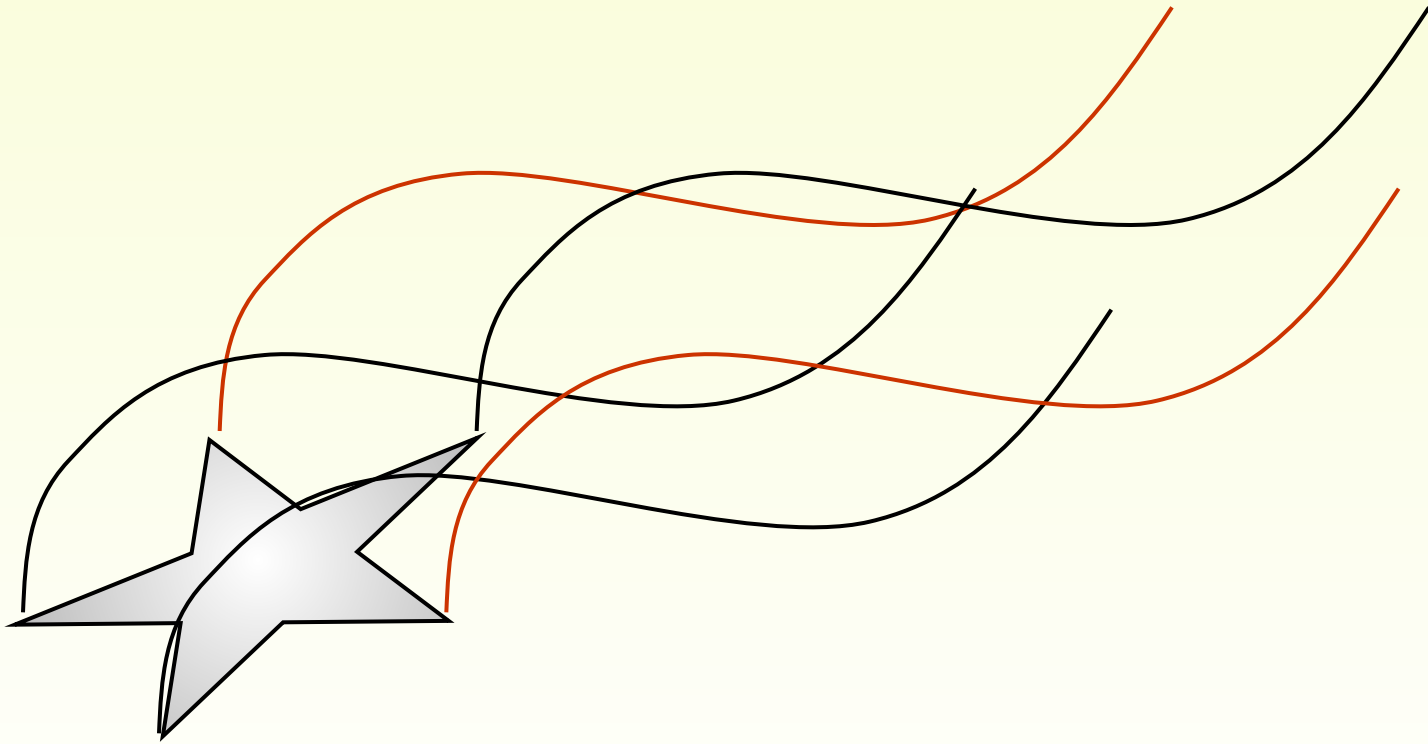
- Его размеры малы по сравнению с пройденным расстоянием
- Движение тела поступательно

Поступательное движение – это движение тела, при котором траектории всех его точек одинаковы.



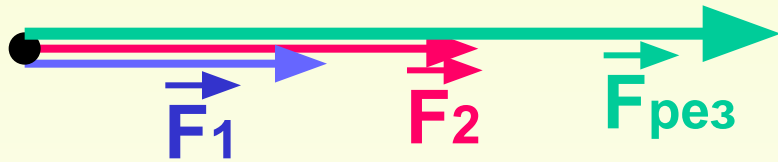
Кинематика

Поступательное движение – это движение тела, при котором траектории всех его точек одинаковы.

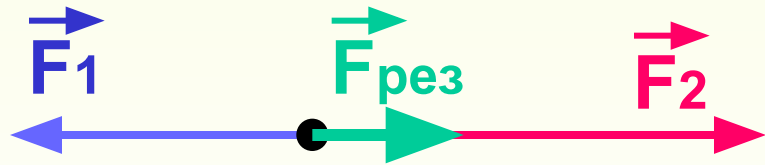


Сложение векторов

$$\vec{F}_{рез} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$$



$$F_{рез} = F_1 + F_2$$

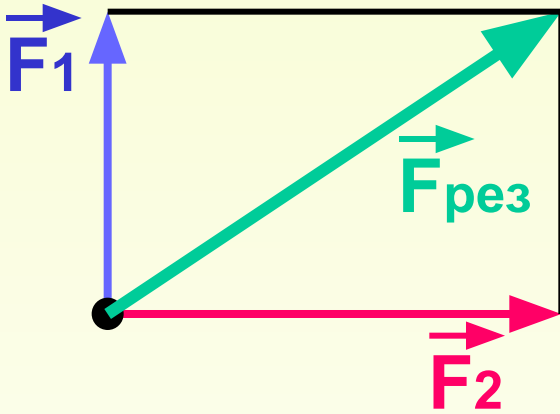


$$F_{рез} = F_2 - F_1$$

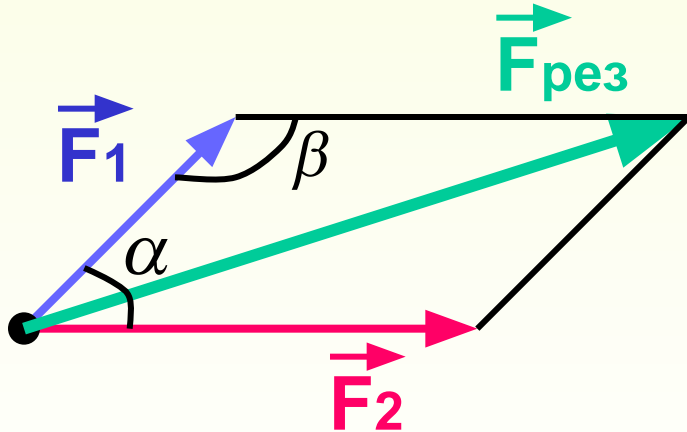


Сложение векторов

$$\vec{F}_{рез} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$$



$$F_{рез} = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$$



$$F_{рез} = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 - 2F_1F_2 \cos \beta}$$

$$\alpha = 180^\circ - \beta$$

$$\cos \beta = -\cos \alpha$$

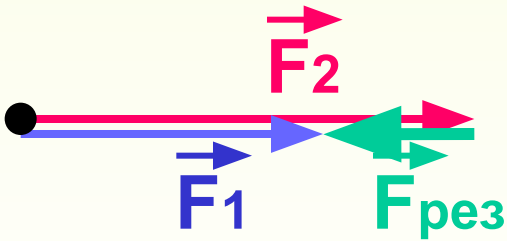
$$F_{рез} = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2 \cos \alpha}$$

Вычитание векторов

$$\vec{F}_{рез} = \vec{F}_1 - \vec{F}_2$$



$$F_{рез} = F_1 + F_2$$

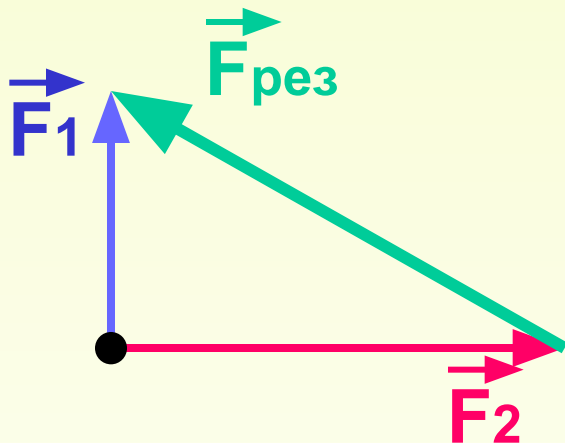


$$F_{рез} = F_2 - F_1$$

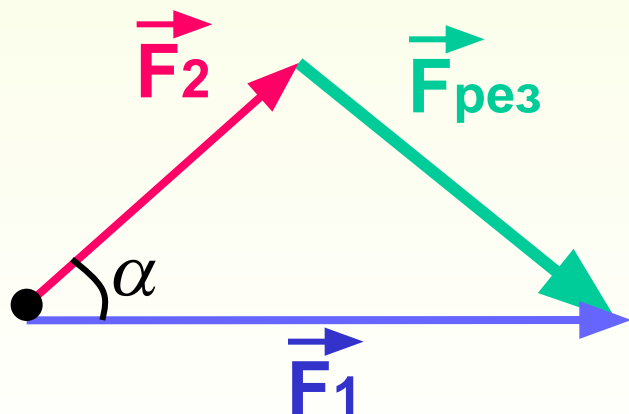


Вычитание векторов

$$\vec{F}_{рез} = \vec{F}_1 - \vec{F}_2$$



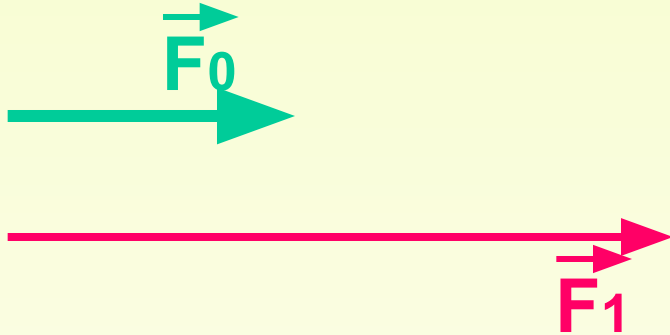
$$F_{рез} = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$$



$$F_{рез} = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 - 2F_1F_2 \cos \alpha}$$



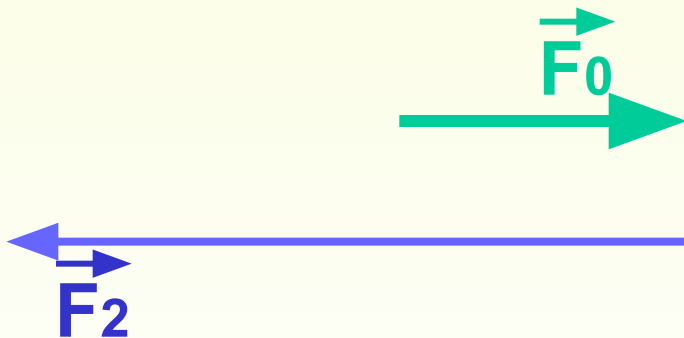
Умножение вектора на скаляр



$$\vec{F}_1 = \vec{F}_0 \cdot a$$

$$a > 0$$

$$|F_1| = |F_0| \cdot a$$



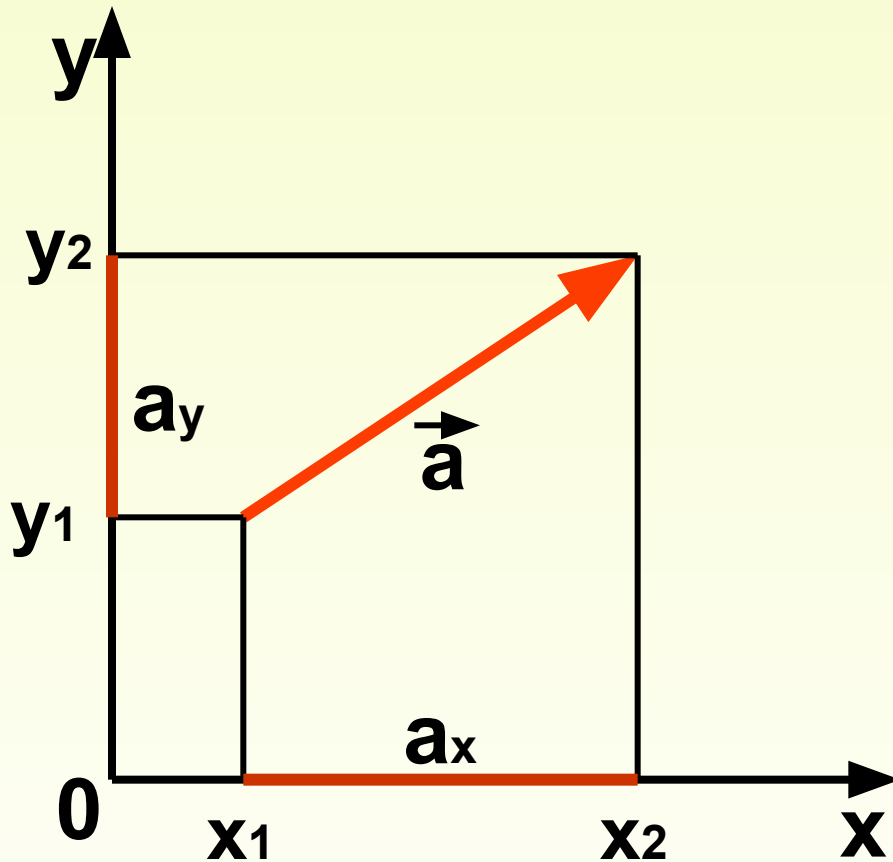
$$\vec{F}_2 = \vec{F}_0 \cdot b$$

$$b < 0$$

$$|F_2| = |F_0| \cdot |b|$$



Проекции векторов



$$a_x = x_2 - x_1$$

$$a_y = y_2 - y_1$$

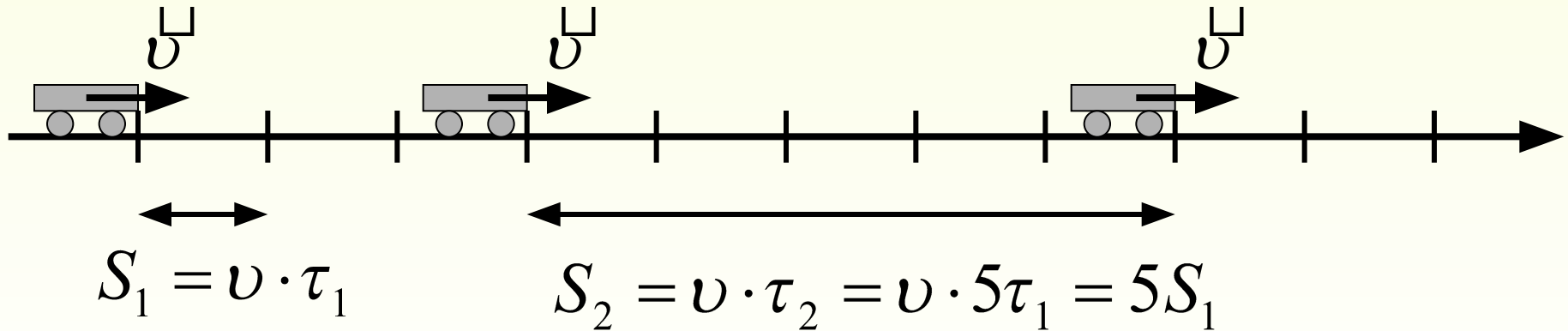
$$|a| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2}$$



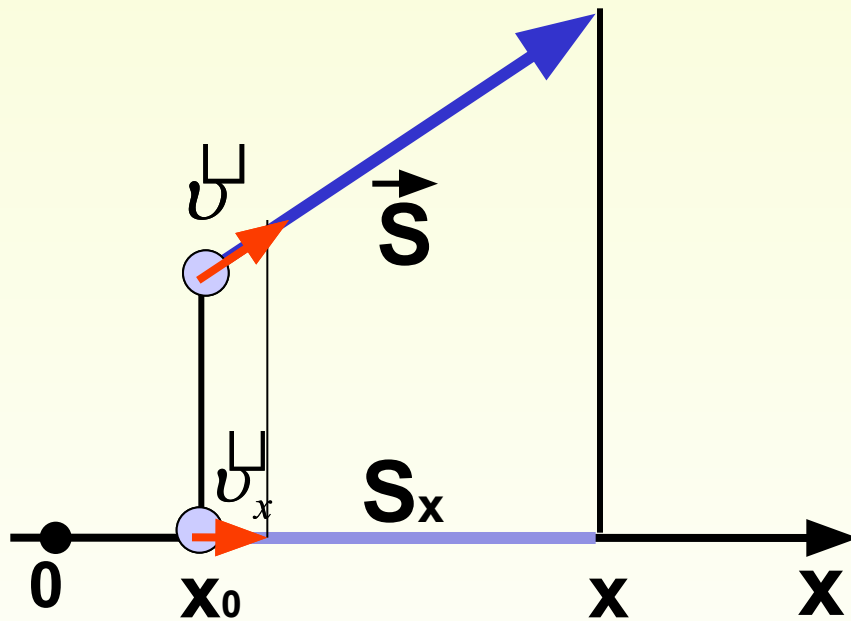
Прямолинейное и равномерное движение тела

Равномерное движение – это такое движение при котором тело за любые равные промежутки времени проходит одинаковые пути.

Прямолинейное движение – это движение, при котором траектория – прямая линия.



Прямолинейное и равномерное движение тела



$$v = \frac{S}{\Delta t}$$

$$v_x = \frac{S_x}{\Delta t}$$

$$x = x_0 + S_x$$

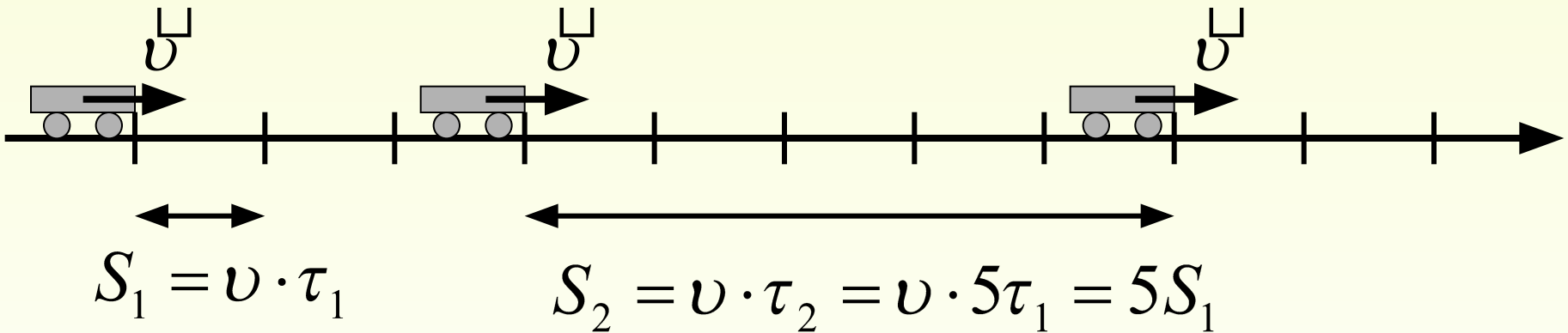
$$S_x = v_x t$$

$$x = x_0 + v_x t$$

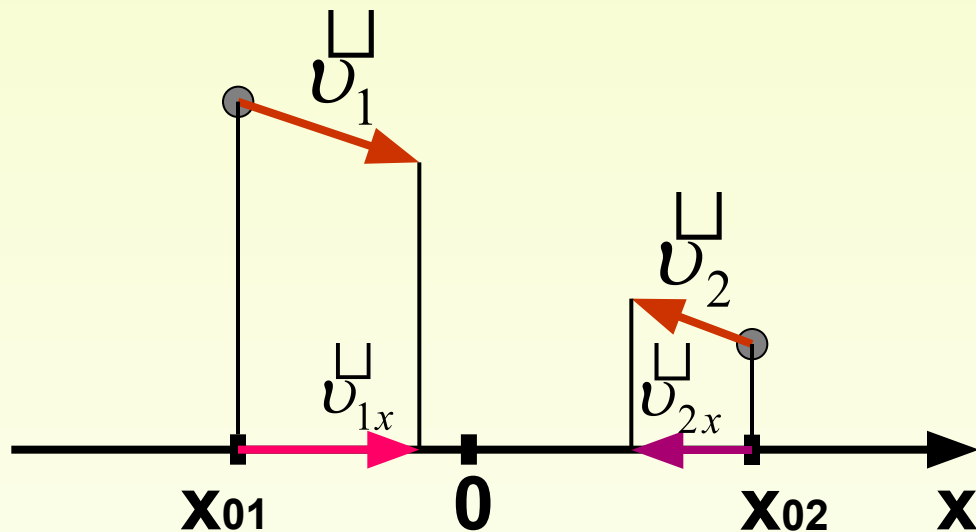
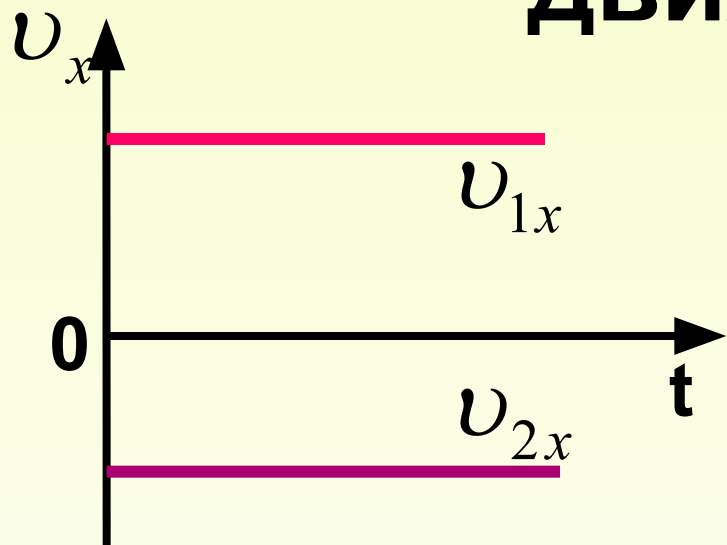


Скорость при равномерном прямолинейном движении

$$\vec{v} = \text{const}$$



Прямолинейное и равномерное движение тела

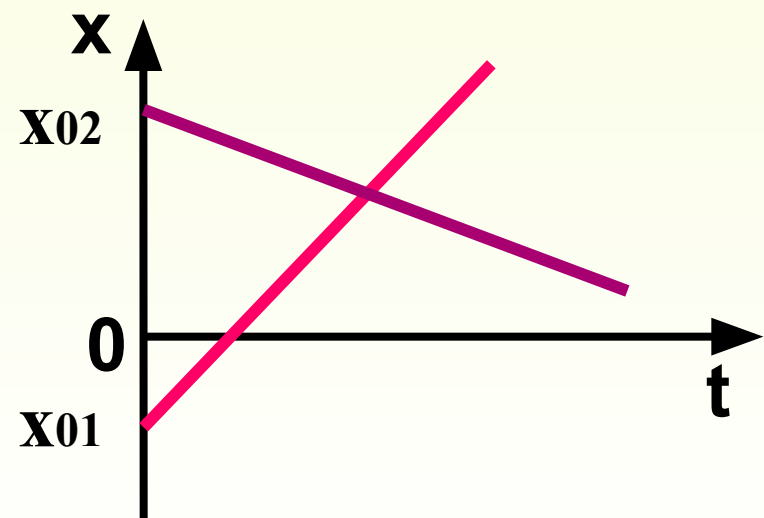


$$v_{1x} > 0$$

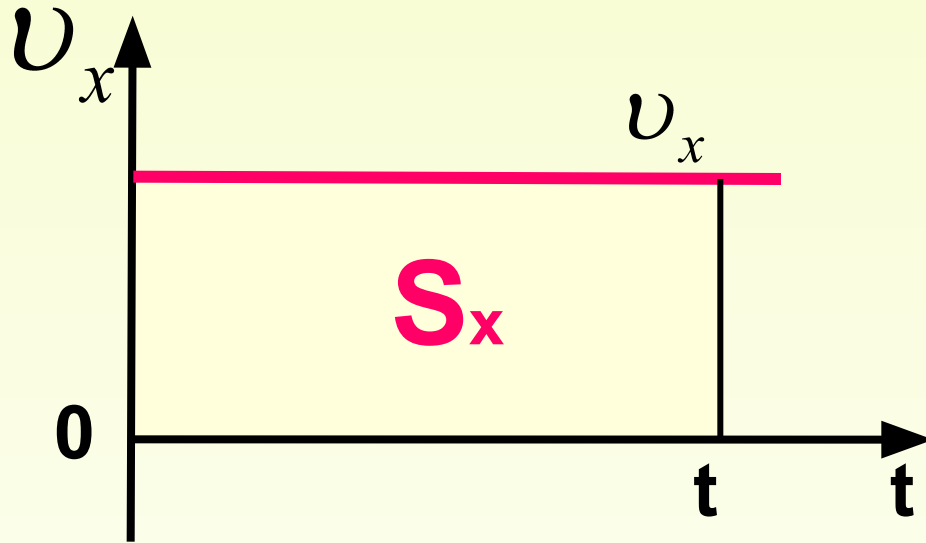
$$x_1 = x_{01} + v_{1x} t$$

$$v_{2x} < 0$$

$$x_2 = x_{02} - v_{2x} t$$



Прямолинейное и равномерное движение тела

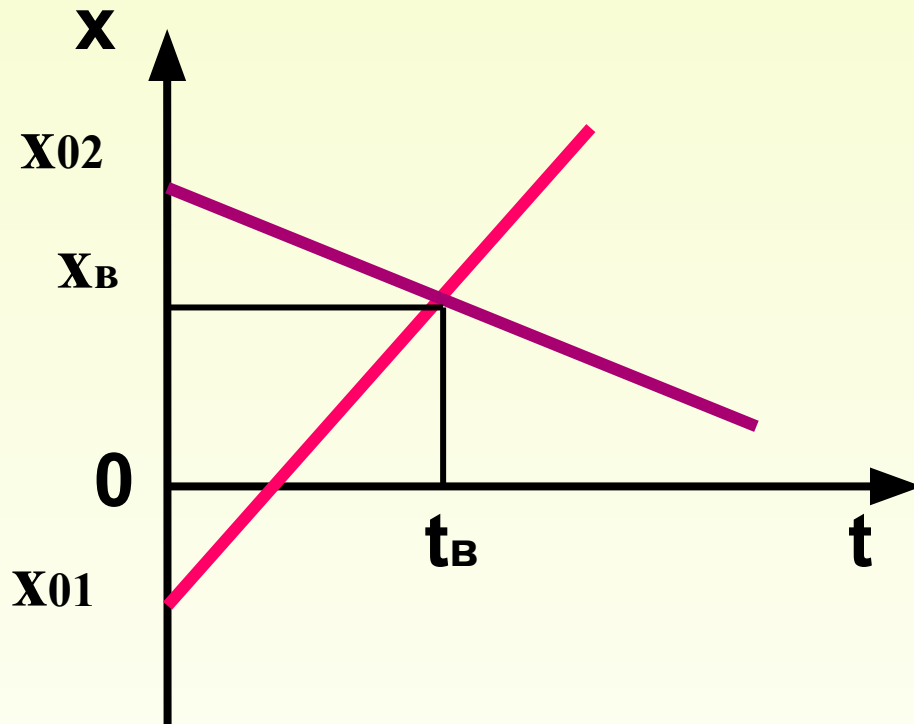


$$S_x = v_x t$$

Перемещение тела за время t равно площади фигуры под графиком зависимости скорости от времени.



Прямолинейное и равномерное движение тела



$$x_1 = x_{01} + v_{1x}t$$

$$x_2 = x_{02} - v_{2x}t$$

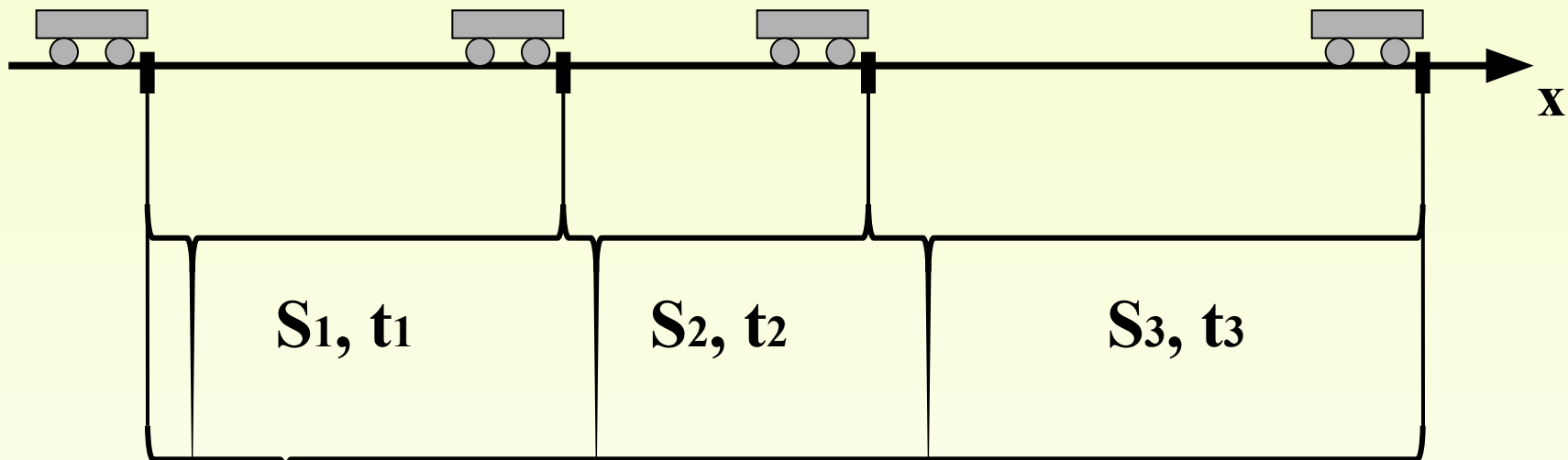
$$x_1 = x_2$$

$$x_{01} + v_{1x}t_e = x_{02} - v_{2x}t_e$$

$$t_e = \frac{x_{02} - x_{01}}{v_{1x} + v_{2x}}$$



Средняя скорость



Собщ, $t_{общ}$

$$v_{cp} = \frac{S_{полн}}{t_{полн}}$$

$$v_{cp} = \frac{S_1 + S_2 + S_3}{t_1 + t_2 + t_3}$$



Прямолинейное равноускоренное движение

Равноускоренное движение – это движение при котором скорость тела за равные промежутки времени меняется одинаково.

$$a = \frac{v - v_0}{t}$$

$$a = \frac{\Delta v}{t}$$

$$v = v_0 + at$$

Ускорение – величина, равная отношению изменения скорости к промежутку времени, за которое это изменение произошло.

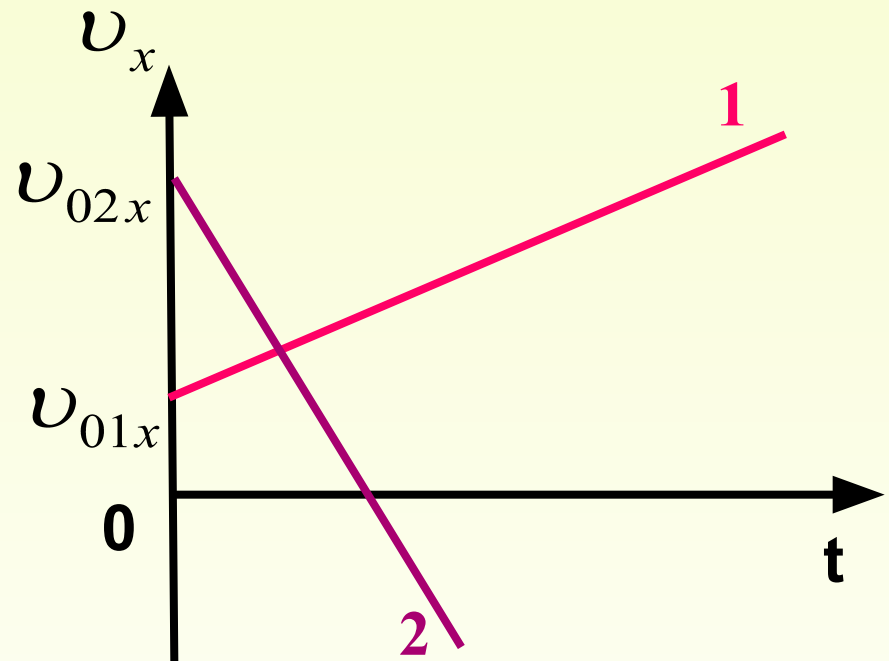
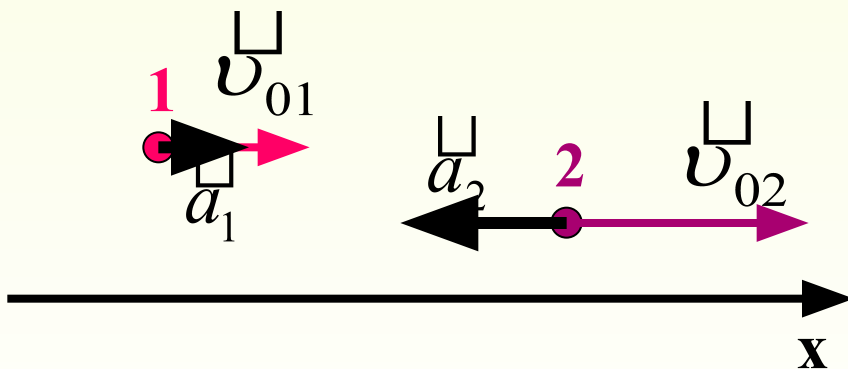
$$[a] = \frac{\frac{m}{c}}{c} = \frac{m}{c^2}$$



Прямолинейное равноускоренное движение

$$a_x = \frac{v_x - v_{0x}}{t}$$

$$v_x = v_{0x} + a_x t$$



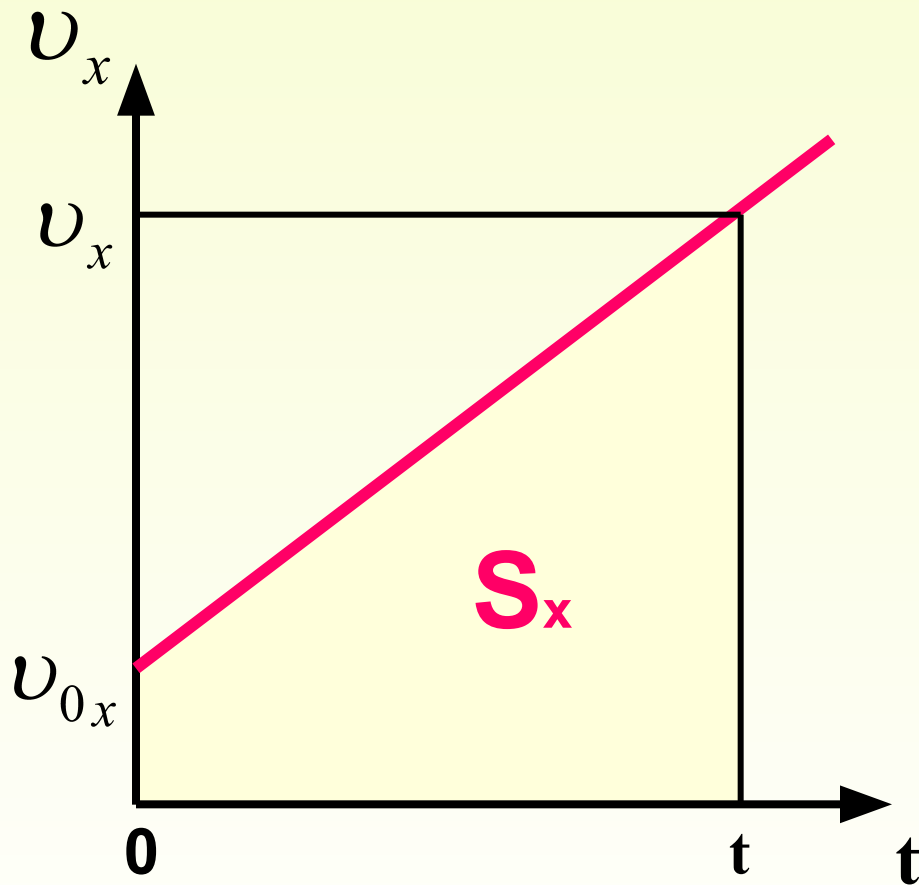
$$a_{1x} > 0$$

$$a_{2x} < 0$$

$$|a_{1x}| < |a_{2x}|$$



Прямолинейное равноускоренное движение



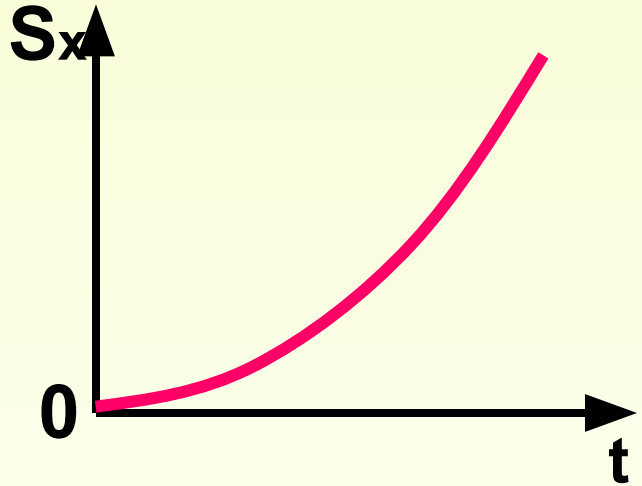
$$S_x = \frac{v_x + v_{0x}}{2} \cdot t$$

$$v_x = v_{0x} + a_x t$$

$$S_x = \frac{v_{0x} + a_x t + v_{0x}}{2} \cdot t$$

$$S_x = v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}$$

Прямолинейное равноускоренное движение



$$S_x = v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$$

$$x = x_0 + S_x$$

$$x = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$$

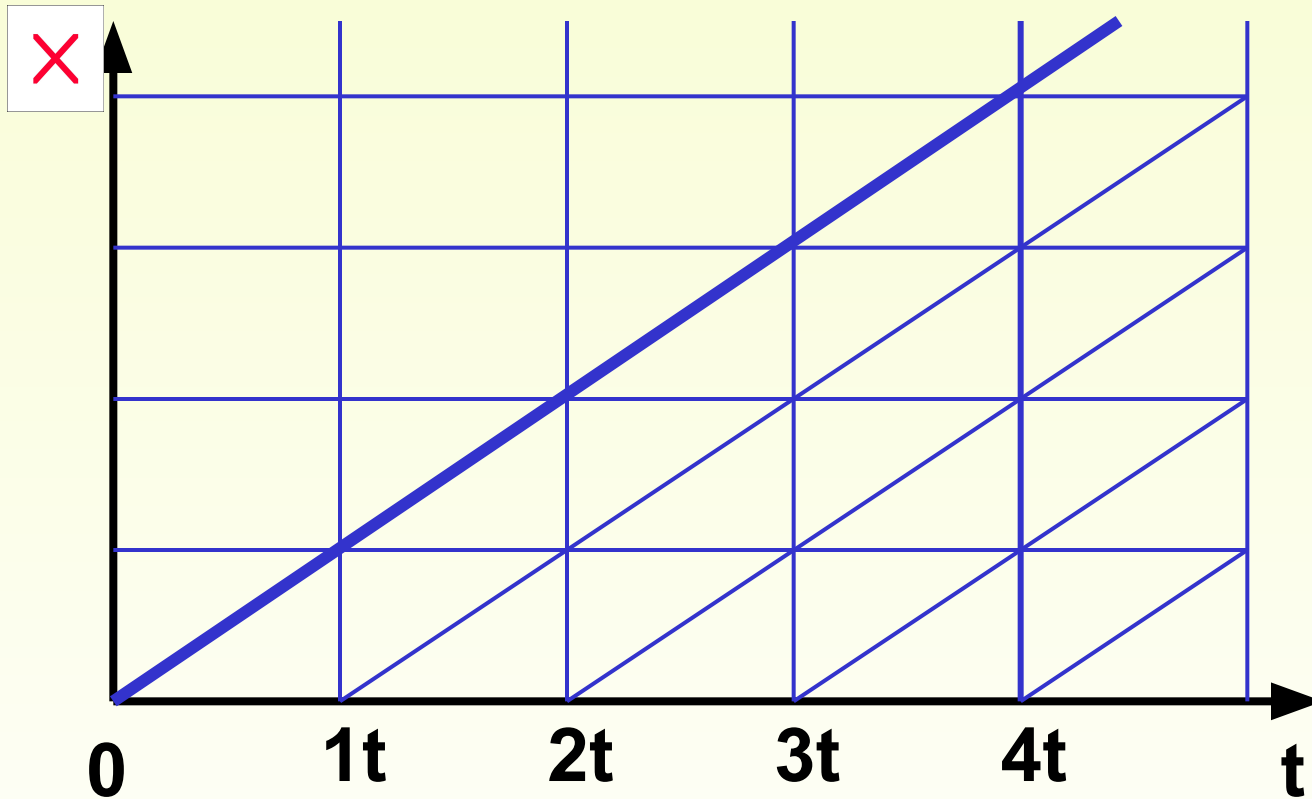


Прямолинейное равноускоренное движение

$$\left. \begin{aligned} S_x &= v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2} \\ a_x &= \frac{v_x - v_{0x}}{t} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} S_x &= \frac{v_x^2 - v_{0x}^2}{2a} \\ S_x &= \frac{v_x + v_{0x}}{2} \cdot t \end{aligned}$$



Прямолинейное равноускоренное движение



$$S_1 : S_2 : S_3 : S_4 : \dots = 1 : 3 : 5 : 7 : \dots$$

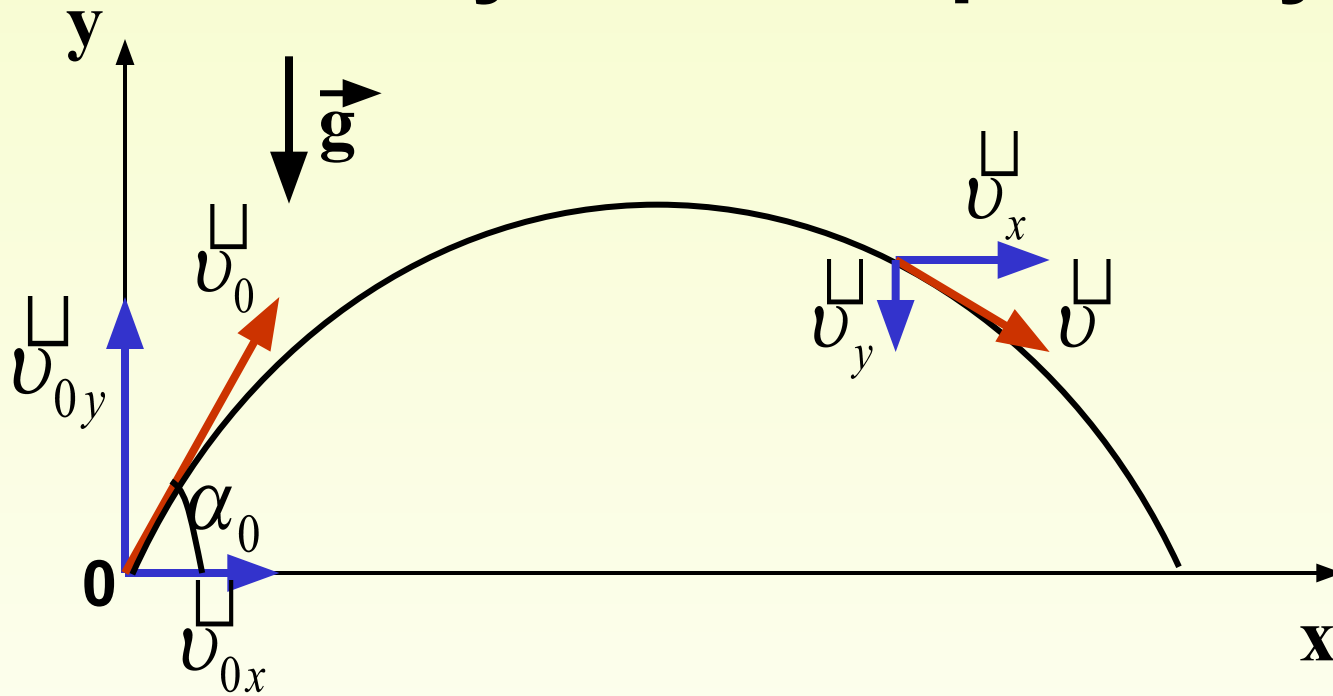




Движение тела брошенного под углом к горизонту



Движение тела брошенного под углом к горизонту



$$x = x_0 + v_x t$$

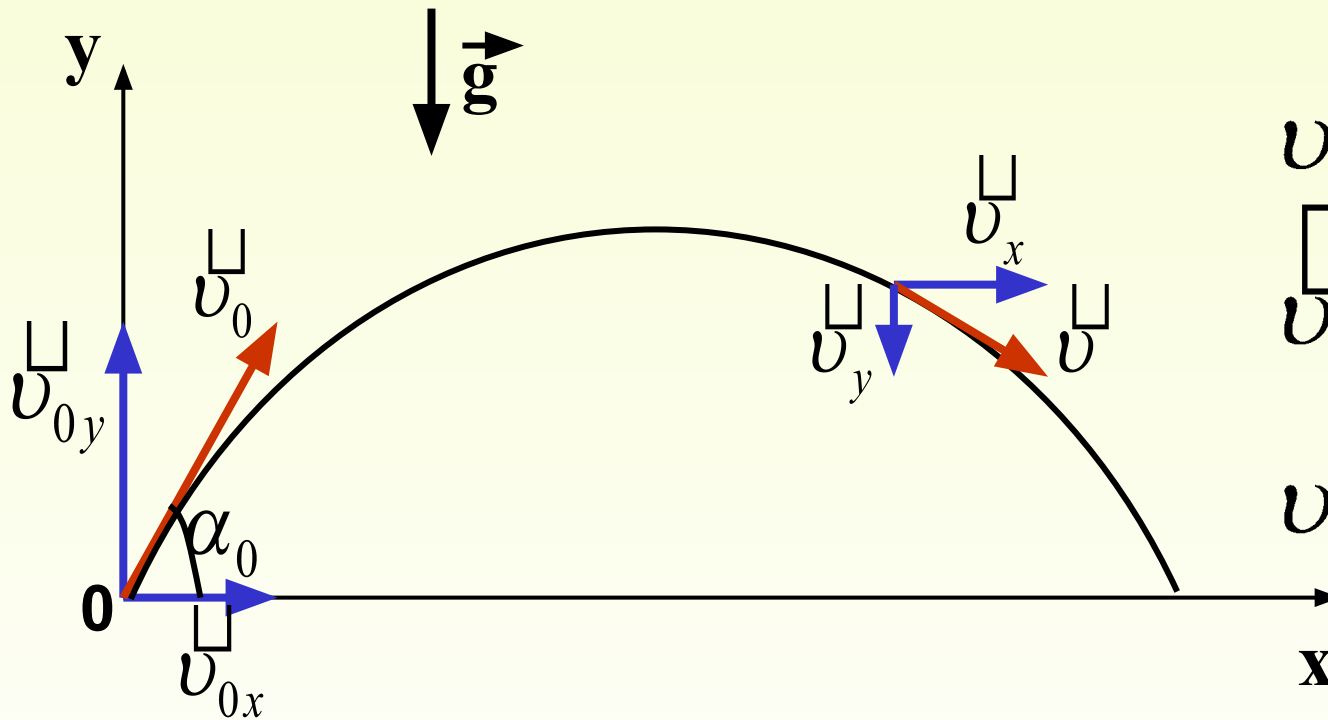
$$v_x = v_{0x} = \text{const}$$

$$y = y_0 + v_{0y} t - \frac{gt^2}{2}$$

$$v_y = v_{0y} - gt$$



Движение тела брошенного под углом к горизонту



$$\vec{v}_0 = \vec{v}_{0x} + \vec{v}_{0y}$$

$$v_0 = \sqrt{v_{0x}^2 + v_{0y}^2}$$

$$\vec{v} = \vec{v}_x + \vec{v}_y$$

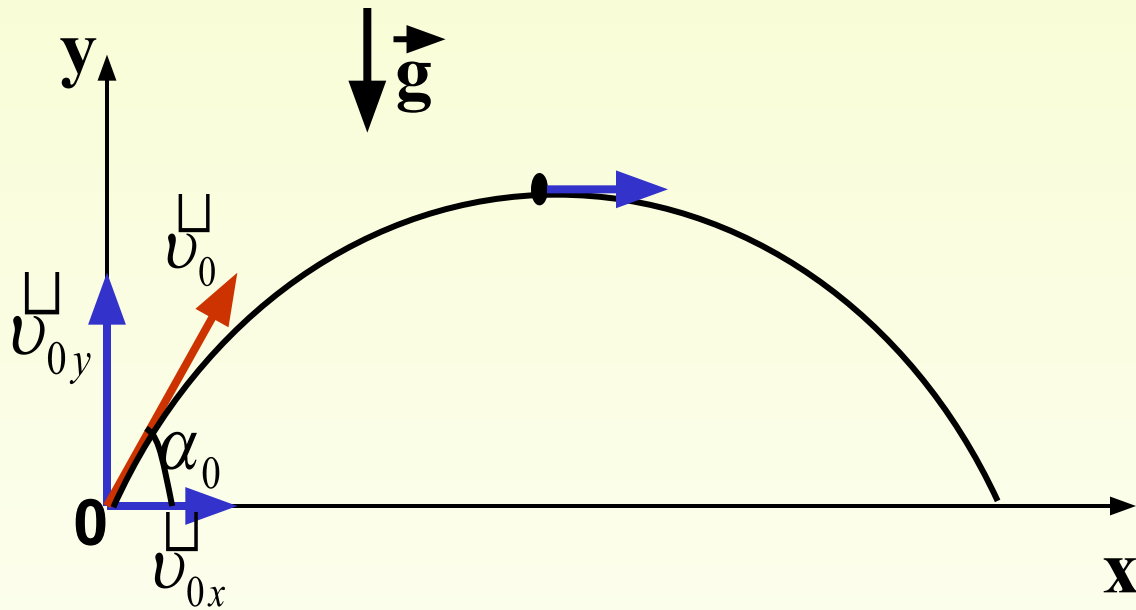
$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$

$$v_{0x} = v_0 \cos \alpha_0$$

$$v_{0y} = v_0 \sin \alpha_0$$



Движение тела брошенного под углом к горизонту



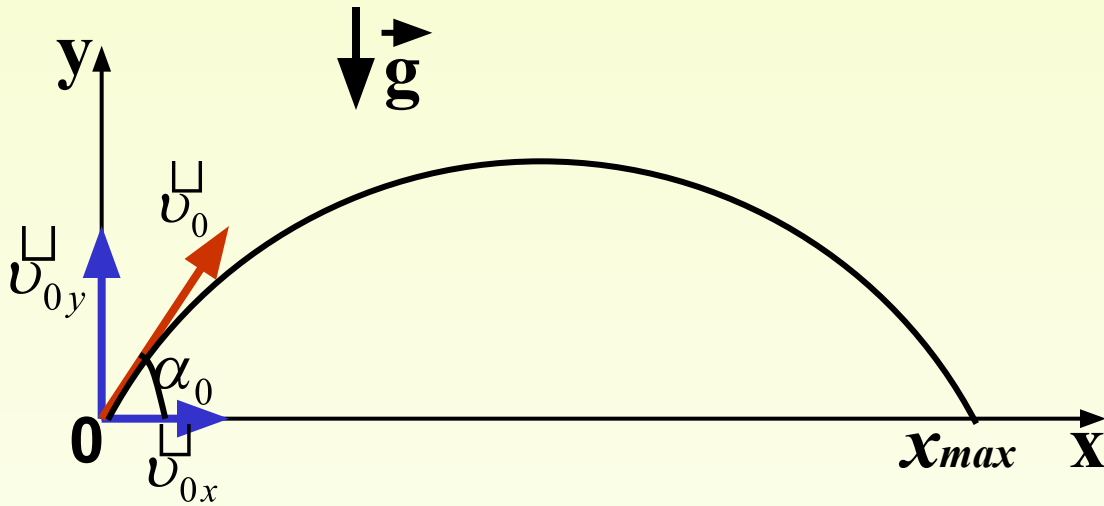
$$0 = v_{0y} - g \frac{t_m}{2}$$

$$t_m = \frac{2v_{0y}}{g}$$

$$t_m = \frac{2v_0 \sin \alpha_0}{g}$$



Движение тела брошенного под углом к горизонту



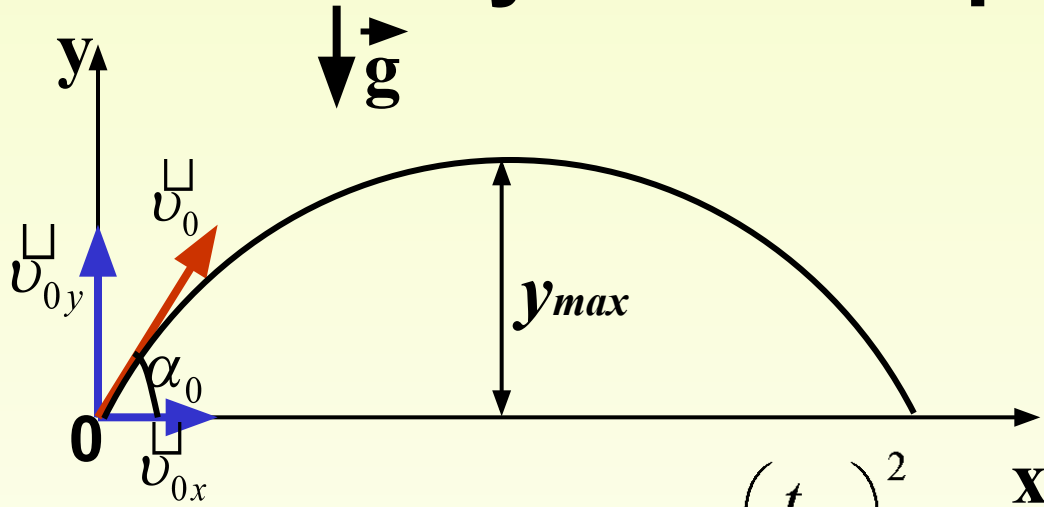
$$x_{\max} = v_{0x} t_m$$

$$x_{\max} = v_0 \cos \alpha_0 \frac{2v_0 \sin \alpha_0}{g}$$

$$x_{\max} = \frac{v_0^2 \sin(2\alpha_0)}{g}$$



Движение тела брошенного под углом к горизонту



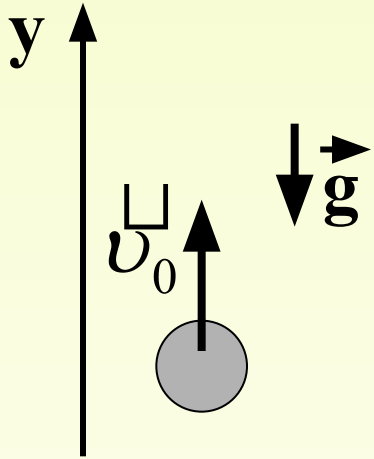
$$y_{\max} = v_{0y} \frac{t_m}{2} - \frac{g \left(\frac{t_m}{2} \right)^2}{2} = v_{0y} \frac{v_{0y}}{g} - \frac{g \left(\frac{v_{0y}}{g} \right)^2}{2}$$

$$y_{\max} = \frac{v_{0y}^2}{2g}$$

$$y_{\max} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha_0}{2g}$$

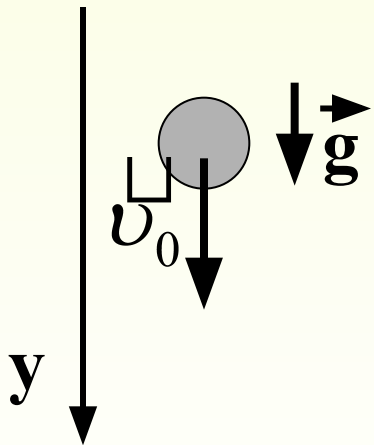


Движение тела, брошенного вертикально



$$v = v_0 - gt$$

$$y = y_0 + v_0 t - \frac{gt^2}{2}$$

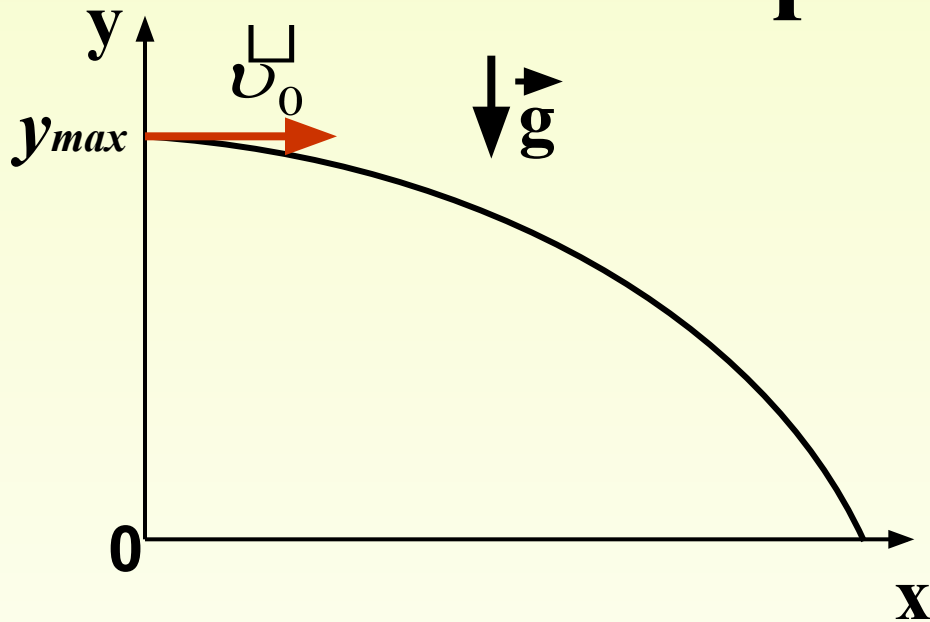


$$v = v_0 + gt$$

$$y = y_0 + v_0 t + \frac{gt^2}{2}$$



Движение тела, брошенного горизонтально



$$v_{0x} = v_0$$

$$v_{0y} = 0$$

$$x = v_0 t$$

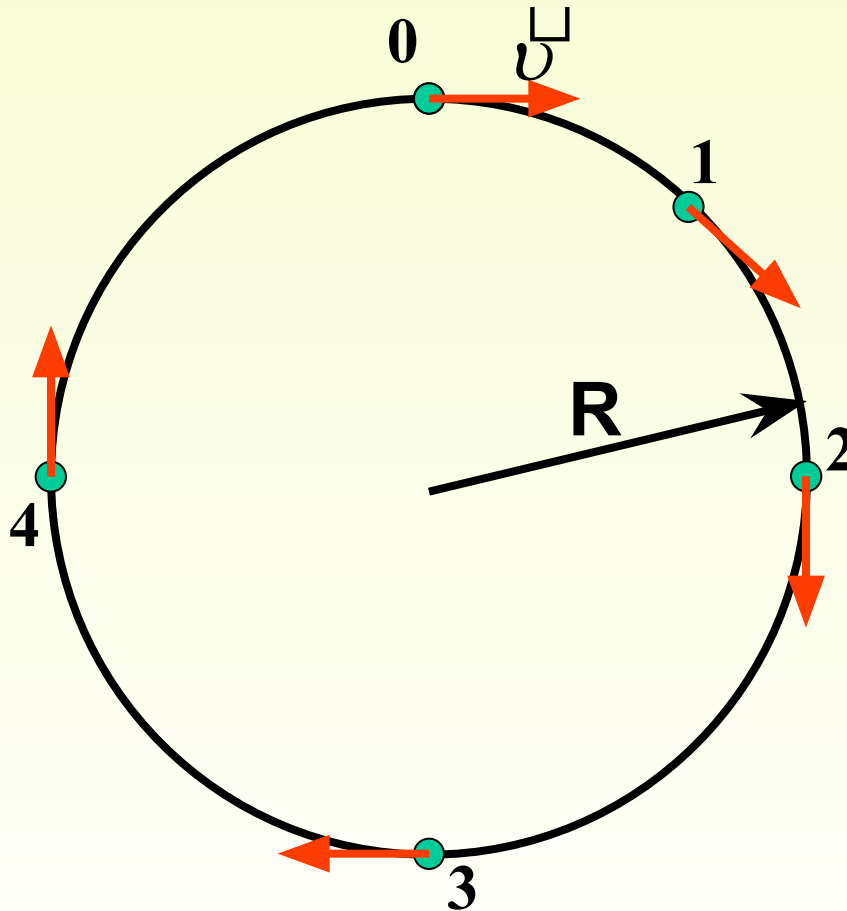
$$v_x = v_0 = \text{const}$$

$$y = y_{\max} - \frac{gt^2}{2}$$

$$v_y = -gt$$



Равномерное движение тела по окружности



$$v_1 = v_2 = v_3 = \dots$$

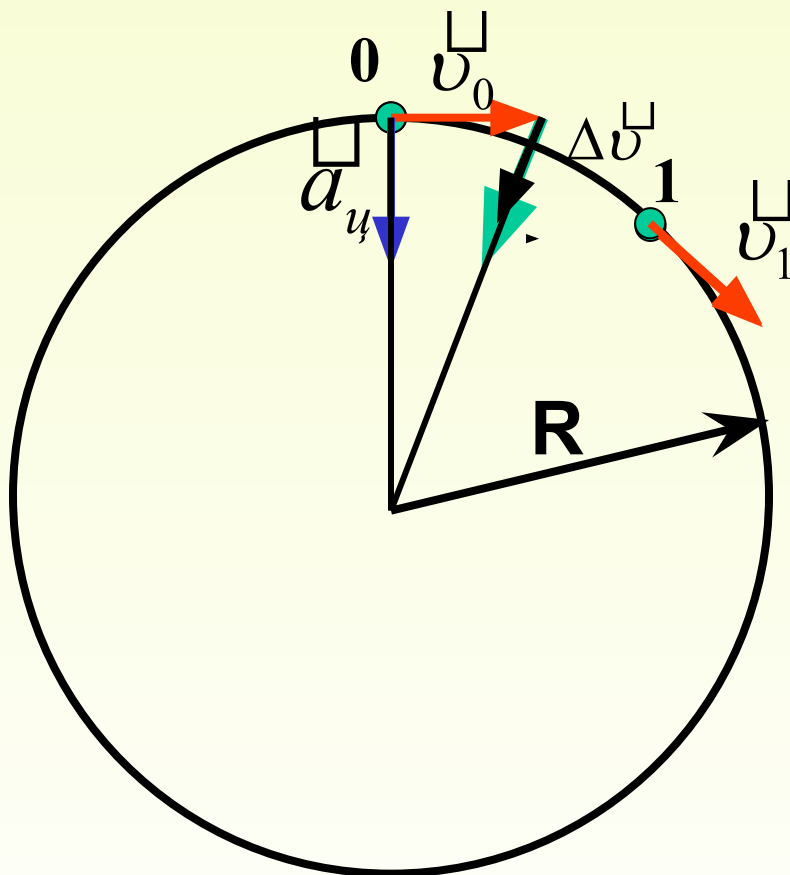
$$v = \text{const}$$

$$\vec{v}_1 \neq \vec{v}_2 \neq \vec{v}_3$$

$$\vec{v} \neq \text{const}$$



Равномерное движение тела по окружности



$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t} = \frac{\Delta \vec{v}}{t}$$

$$\vec{a} \neq \text{const}$$

$$\frac{v}{R} = \frac{\Delta v}{t}$$

$$a_y = \frac{v^2}{R}$$



Динамика

**Динамика – раздел механики, который отвечает на вопрос:
ПОЧЕМУ движется тело?**

**Причина изменения скорости тела – воздействие на него
других тел.**

**Если на тело не действуют другие тела, то оно либо
покоится, либо движется прямолинейно и равномерно.**



Законы Ньютона

1 закон Ньютона:

Существуют такие системы отсчета, относительно которых тело движется прямолинейно и равномерно или покоится при отсутствии внешних воздействий. Такие с.о. называются инерциальными (ИСО).

Инерция – явление при котором скорость тела остается неизменной при отсутствии на него внешних воздействий.



Законы Ньютона

Инертность – свойство тела сохранять свою скорость при отсутствии внешних воздействий.

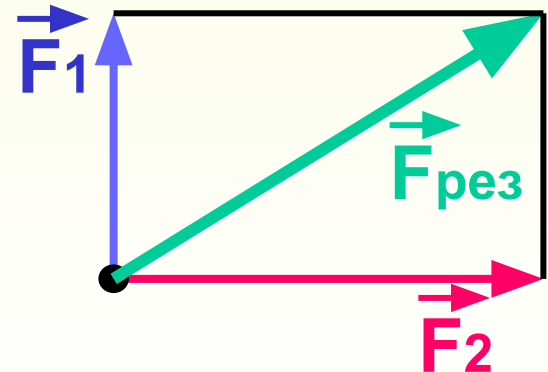
Мера инертности – масса тела. (Чем больше масса тела, тем труднее изменить его скорость).

$$[m] = \text{кг}$$

Сила – количественная мера взаимодействия тел.

$$[F] = \text{Н}$$

Равнодействующая – векторная сумма всех сил, действующих на тело.



Законы Ньютона

2 закон Ньютона:

Ускорение тела прямо пропорционально силе, действующей на тело и обратно пропорционально массе этого тела.

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}_{рез}}{m}$$

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

$$\left(H = \kappa g \cdot \frac{M}{c^2} \right)$$



Законы Ньютона

3 закон Ньютона:

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

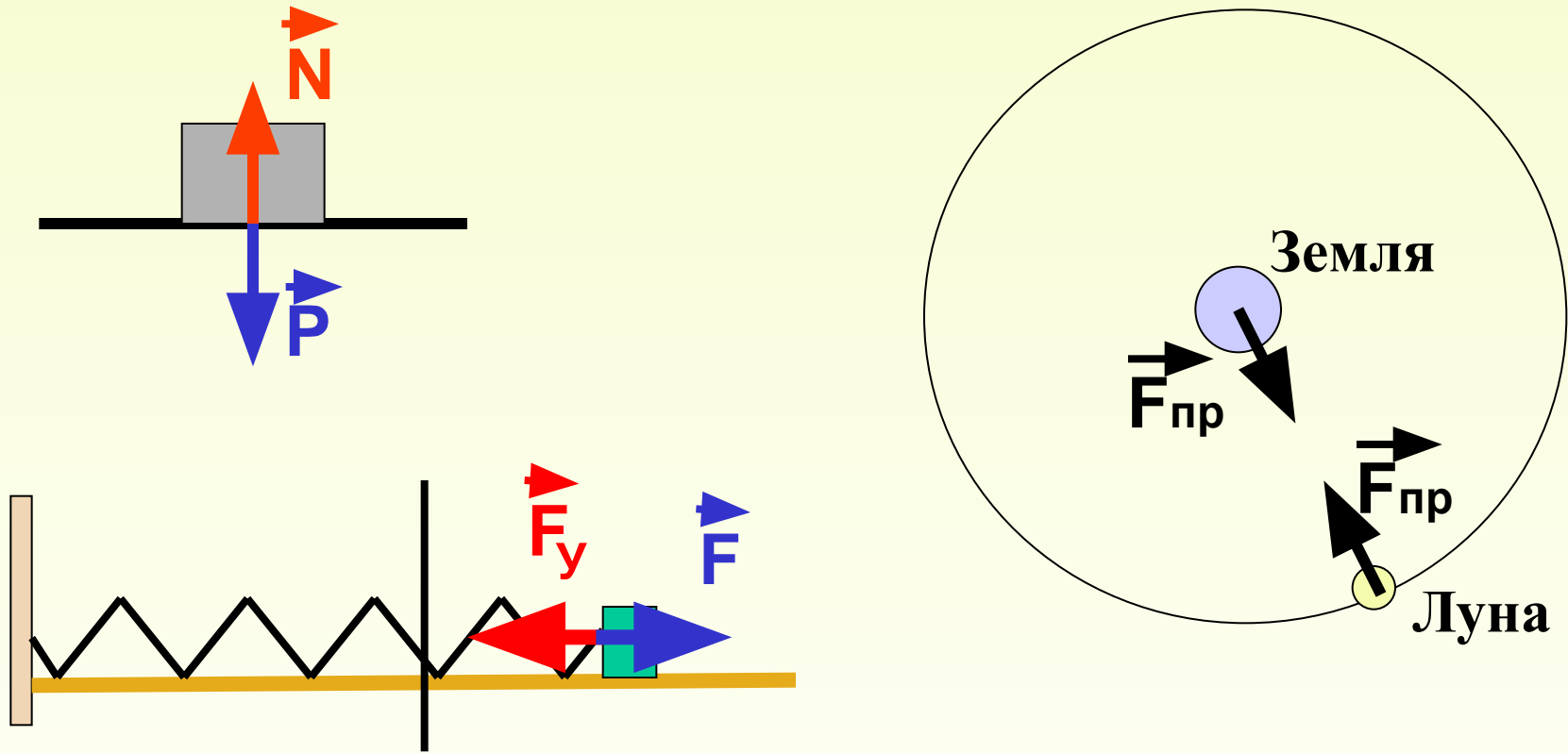
$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$$
$$m_1 \vec{a}_1 = -m_2 \vec{a}_2$$

$$m_1 a_1 = m_2 a_2$$

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{a_2}{a_1}$$



Законы Ньютона



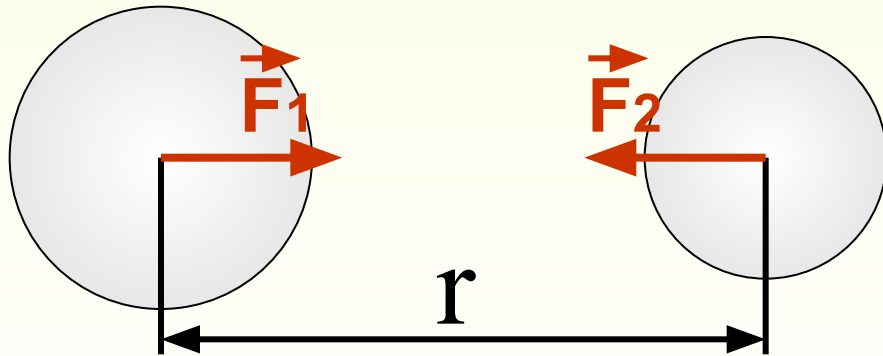
Силы, возникающие при взаимодействии тел не могут скомпенсировать друг друга, так как действуют на разные тела.



Закон всемирного тяготения

Исаак Ньютон

Все тела во Вселенной притягиваются друг к другу с силами прямо пропорциональными произведению их масс и обратно пропорциональными квадрату расстояния между их центрами.



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



Закон всемирного тяготения

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

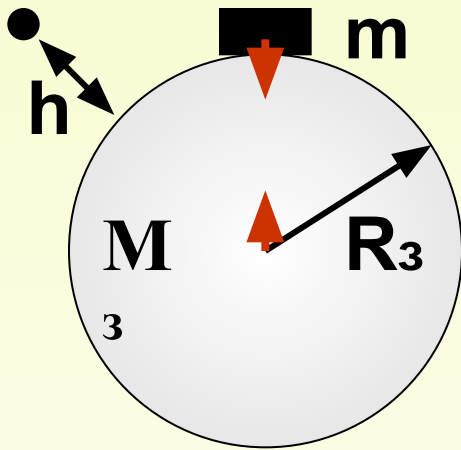
Гравитационная постоянная – величина. Численно равная силе взаимодействия двух тел массами по 1 кг, находящихся на расстоянии 1 м друг от друга.

$$G = 6,672 \cdot 10^{-11} \frac{Н \cdot м^2}{кг^2}$$

1798 г. Генри Кавендиш



Сила тяжести



$$F_T = G \frac{M_3 m}{R_3^2}$$

$$F_T = mg$$

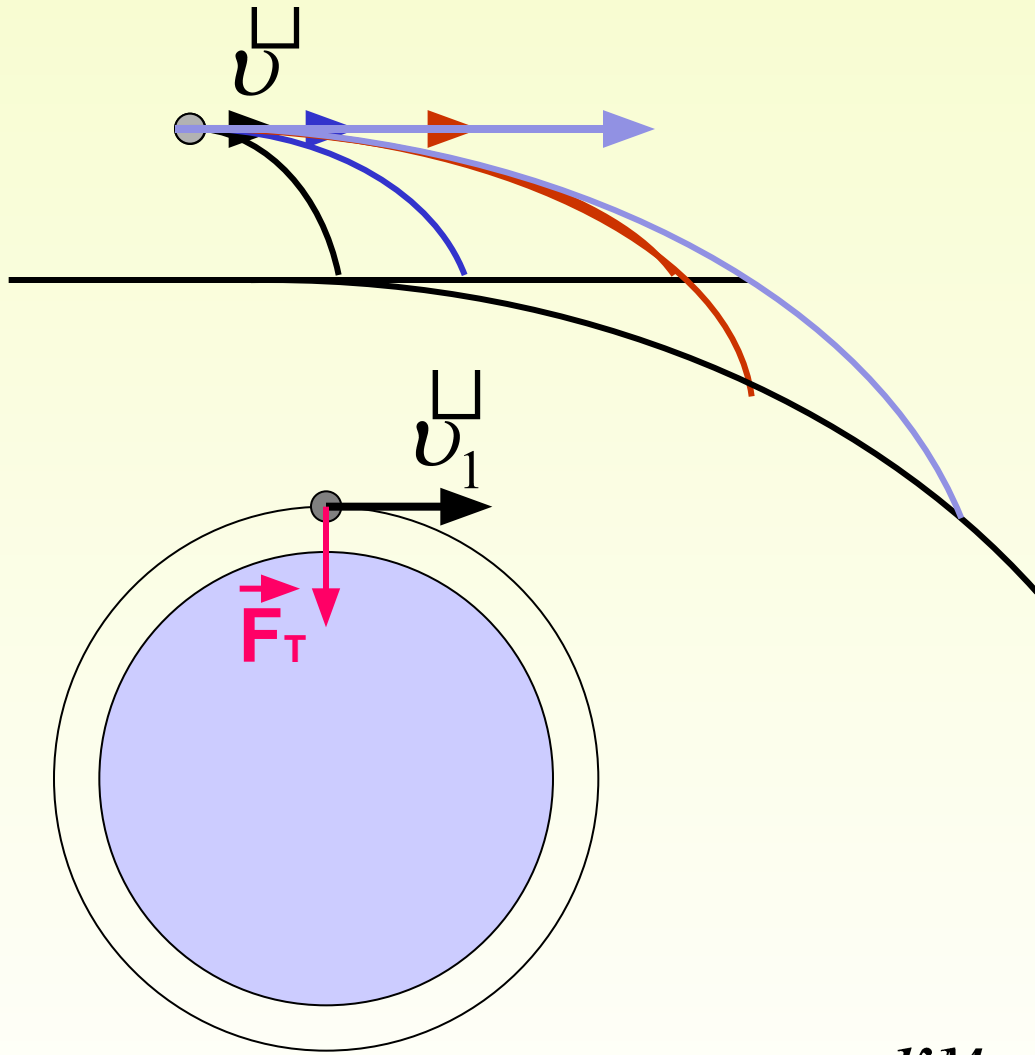
$$g = G \frac{M_3}{R_3^2}$$

$$g' = G \frac{M_3}{(R_3 + h)^2}$$

$$g = 9,8 \frac{\mathcal{M}}{c^2}$$



Первая космическая скорость



$$F_T = G \frac{M_3 m}{R_3^2}$$

$$F_T = m a_y = m \frac{v_1^2}{R_3}$$

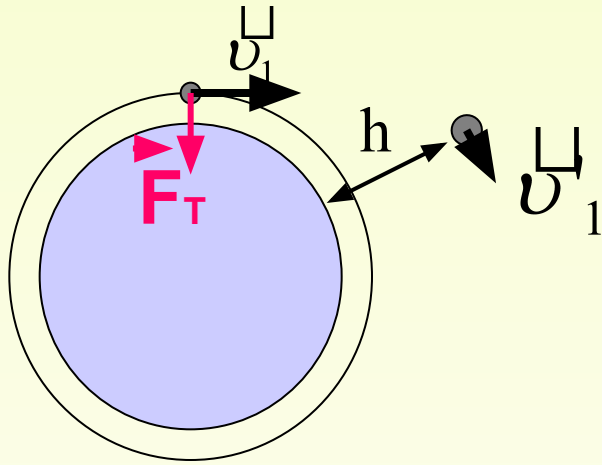
$$m \frac{v_1^2}{R_3} = G \frac{M_3 m}{R_3^2}$$

$$v_1 = \sqrt{G \frac{M_3}{R_3}}$$

$$v_1 = 7,9 \frac{\text{км}}{\text{с}}$$



Первая космическая скорость



$$v_1 = \sqrt{G \frac{M_3}{R_3}}$$

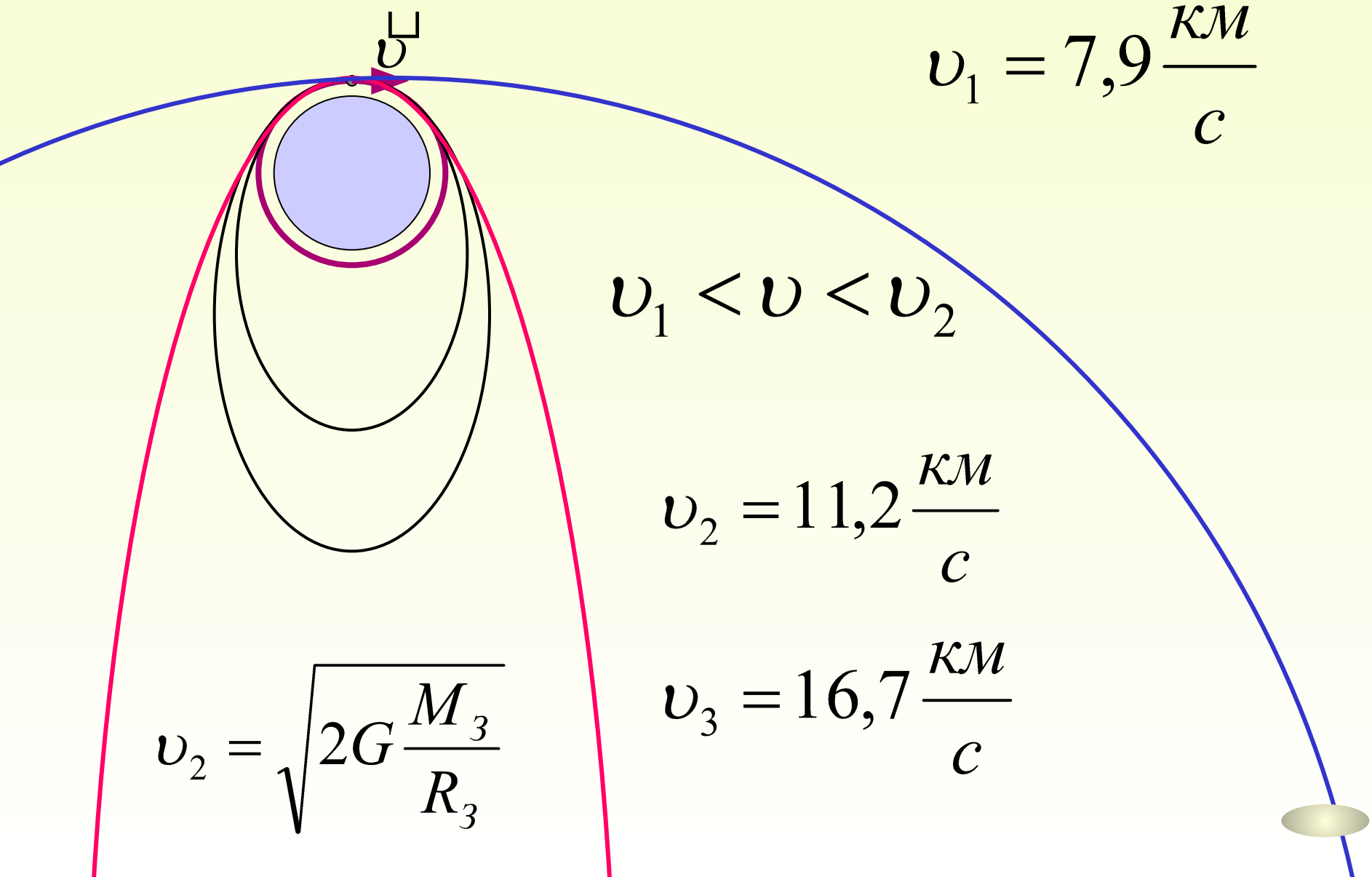
$$g = G \frac{M_3}{R_3^2}$$

$$v_1 = \sqrt{gR_3}$$

$$v'_1 = \sqrt{G \frac{M_3}{R_3 + h}}$$



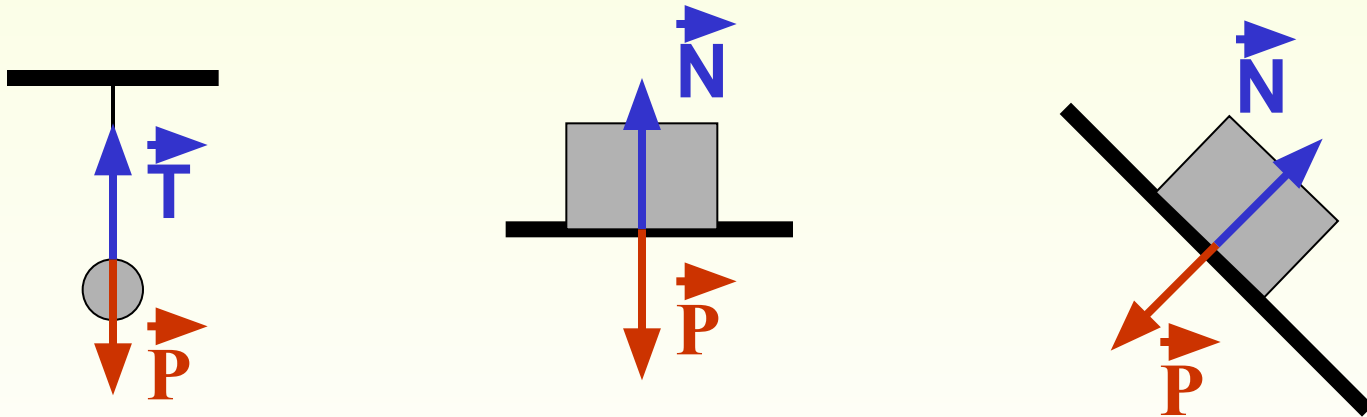
Космические скорости



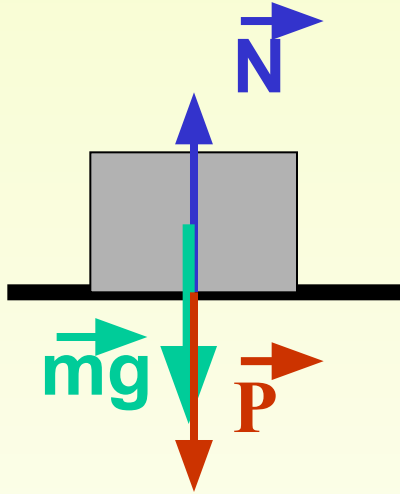
Вес тела

Вес – это сила, с которой тело действует на опору или подвес.

$$[P] = H$$



Вес тела



$$a = 0$$

$$0 = mg + N$$

2 закон Ньютона

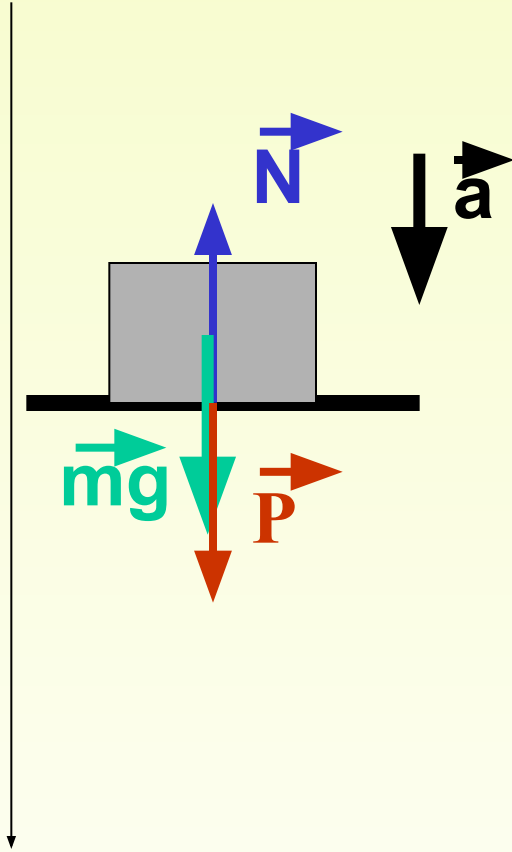
$$P = -N$$

3 закон Ньютона

$$P = mg$$



Вес тела



$$a \neq 0 \quad a \uparrow \uparrow g \downarrow$$

$$ma = mg + N$$

2 закон Ньютона

$$ma = mg - N$$

$$N = m(g - a)$$

$$P = -N$$

3 закон Ньютона

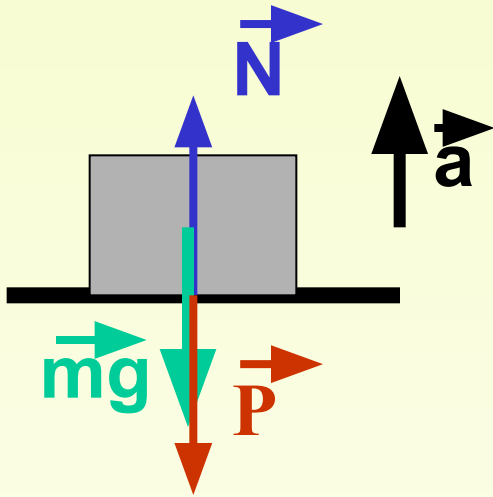
$$P = m(g - a)$$

если $a = g$,

то $P = 0$ - невесомость



Вес тела



$$\vec{a} \neq 0 \quad \vec{a} \uparrow \downarrow \vec{g}$$

$$m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{N}$$

2 закон Ньютона

$$ma = N - mg$$

$$N = m(g + a)$$

$$\vec{P} = -\vec{N}$$

3 закон Ньютона

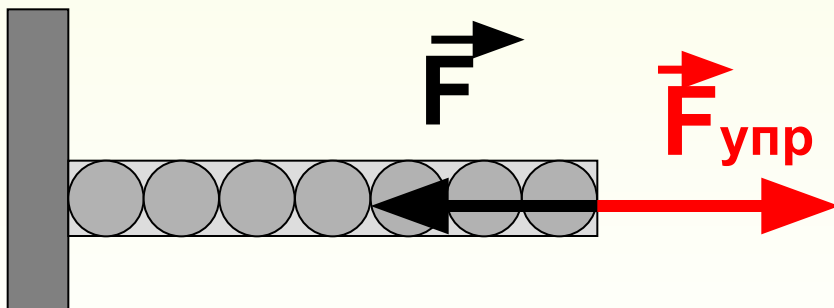
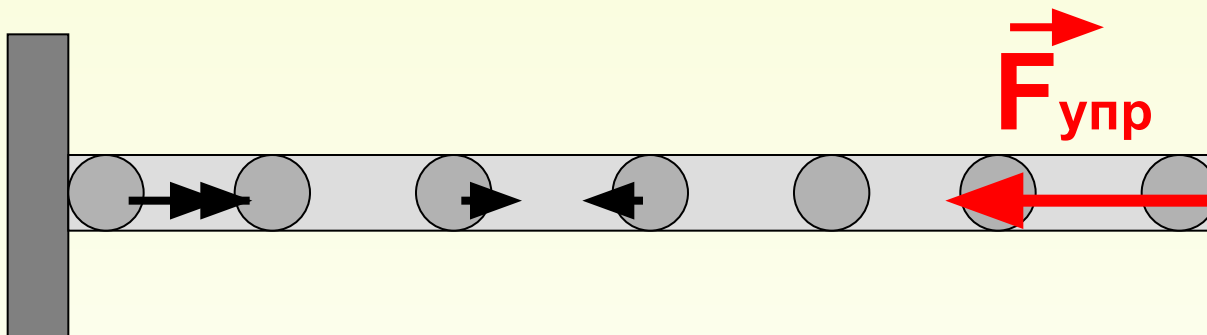
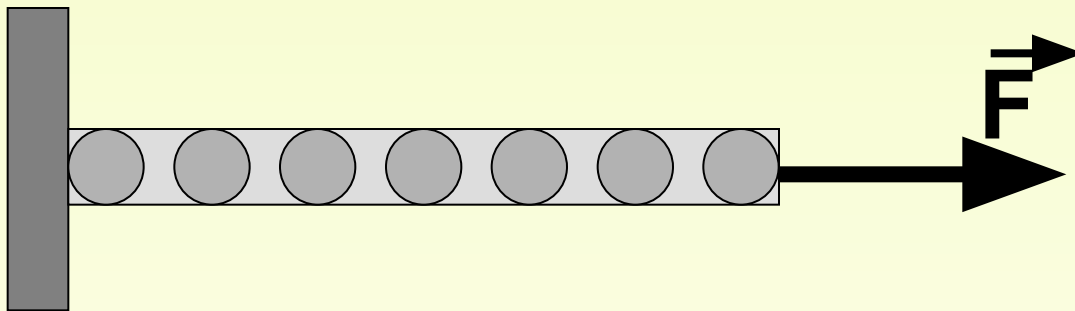
$$P = m(g + a)$$

Перегрузка – явление увеличения веса тела.

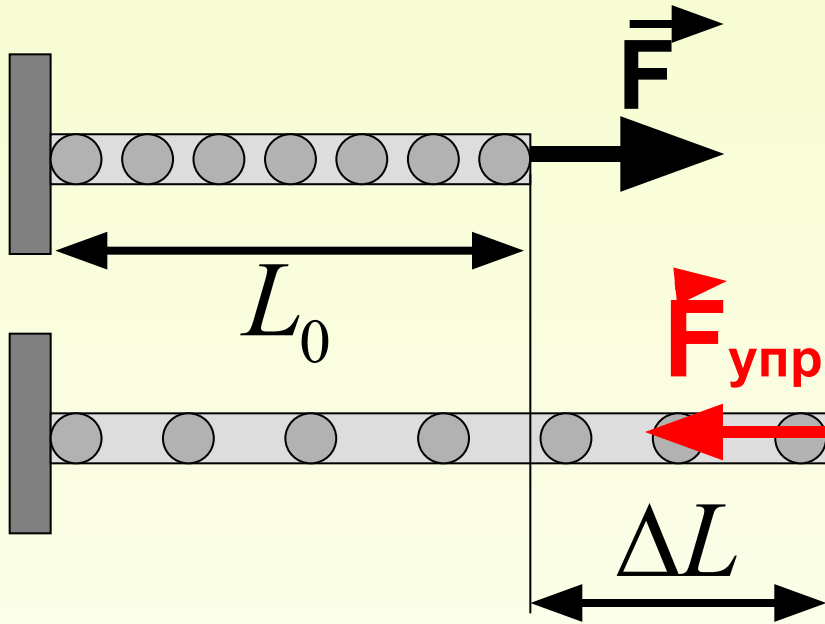
$$k = \frac{m(g + a)}{mg} = \frac{g + a}{g} \quad \text{- коэффициент перегрузки}$$



Сила упругости



Закон Гука



ΔL - абсолютное удлинение.

$$[\Delta L] = м$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

$$F_{упр} = -k\Delta L$$

k - жесткость

$$[k] = \frac{H}{м}$$

ε - относительное удлинение



Закон Гука

$$\sigma = \frac{F}{S} \text{ - механическое напряжение}$$

$$[\sigma] = \frac{Н}{м^2} = Па$$

$\sigma_{пч}$ - предел прочности – максимальное механическое напряжение, которое выдерживает данное вещество

$$\sigma = \varepsilon E \quad 1660 \text{ г.}$$

E – модуль Юнга

$$[E] = Па$$



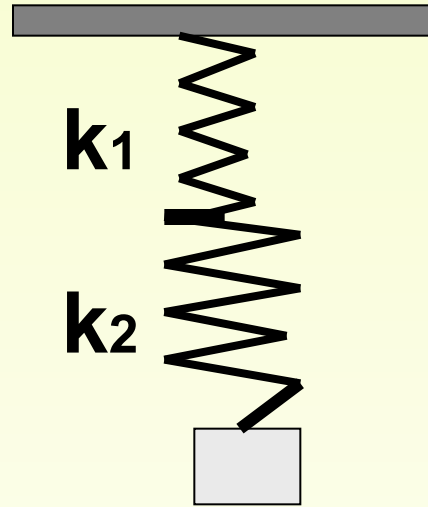
Закон Гука

$$\Delta L = \frac{FL_0}{ES}$$

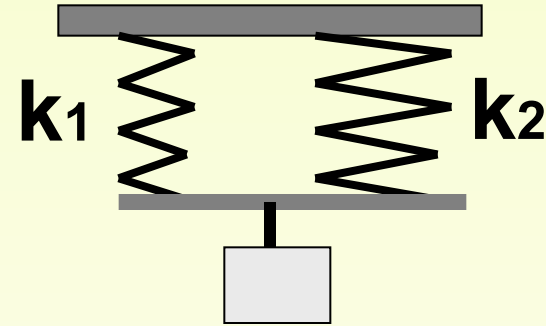
$$F_{\text{упр}} = -kx$$

$$F = -F_{\text{упр}}$$

$$k = \frac{ES}{L_0}$$



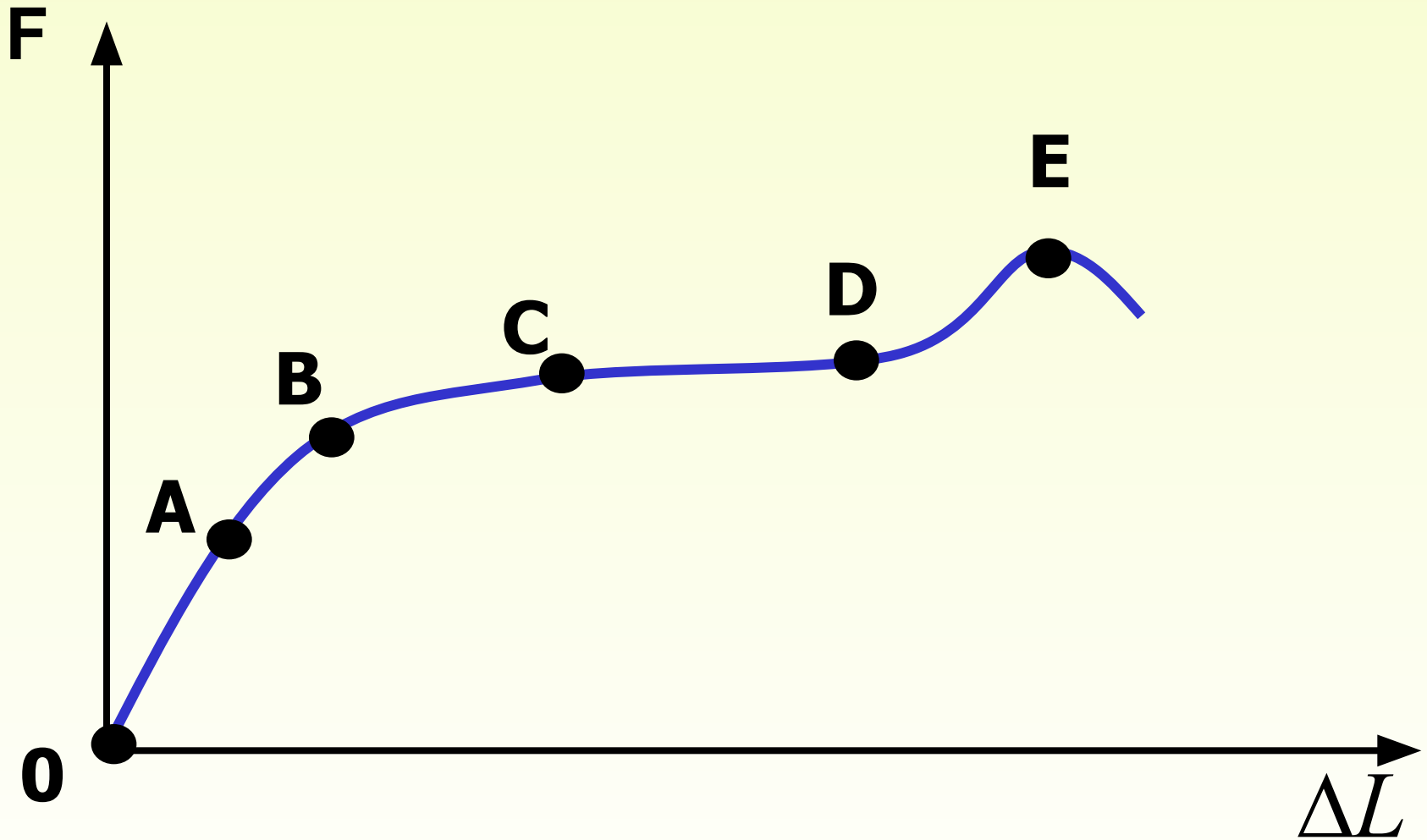
$$k = \frac{k_1 k_2}{k_1 + k_2}$$



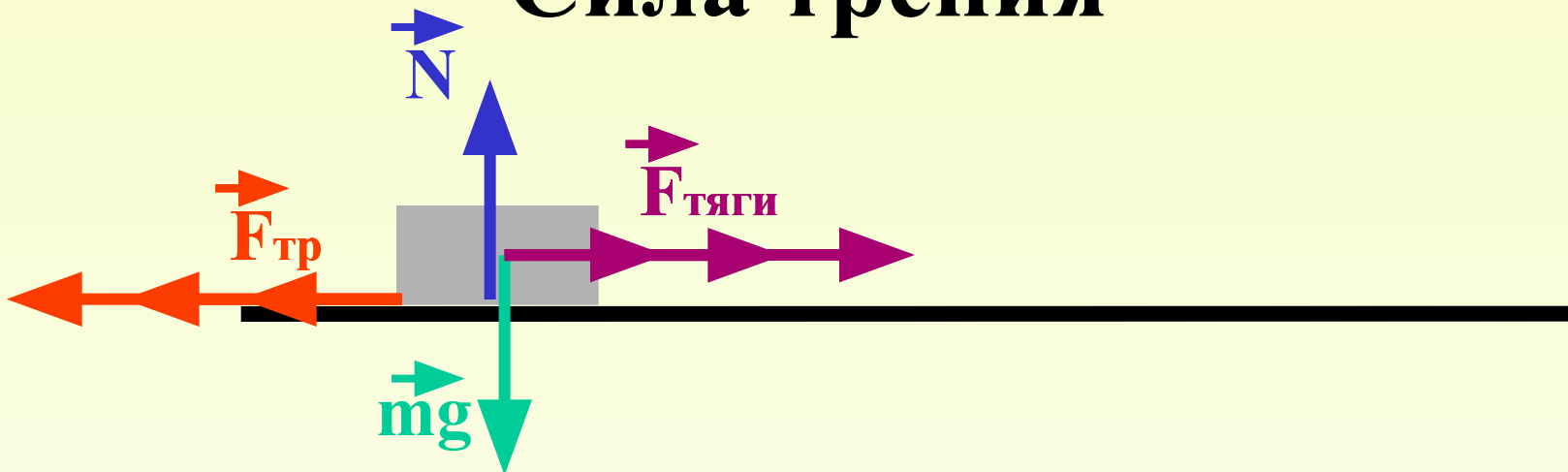
$$k = k_1 + k_2$$



Диаграмма растяжений



Сила трения



Силу трения, действующую между двумя телами, неподвижными относительно друг друга называют силой трения покоя.

Наибольшее значение силы трения, при котором скольжение еще не наступает, называется максимальной силой трения покоя.

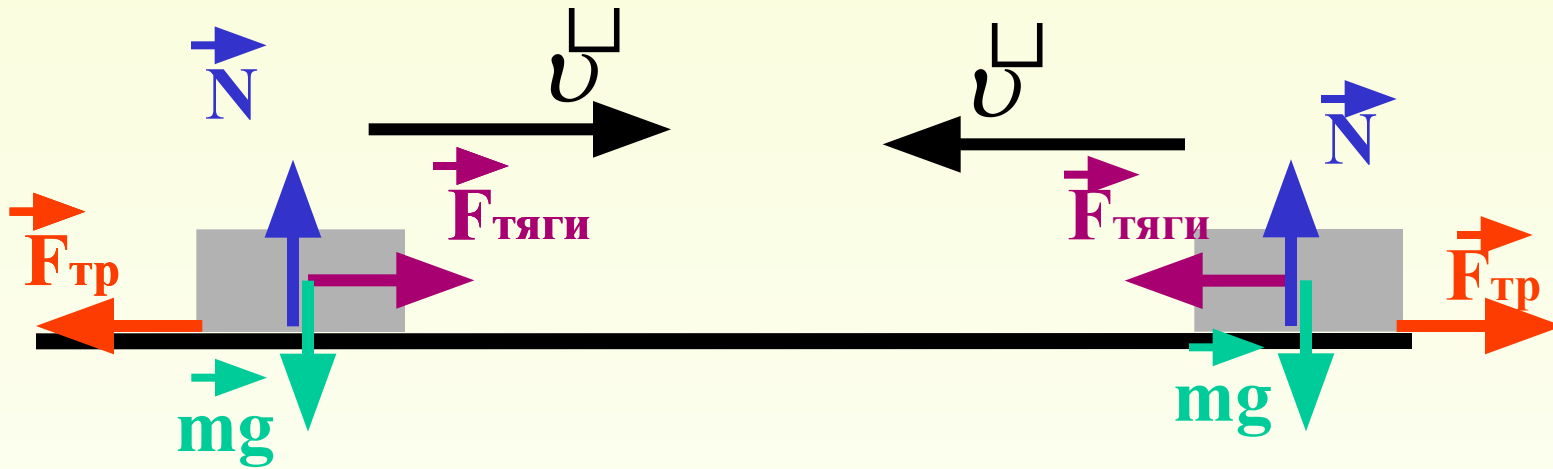
$$F_{тр. \max} = \mu N$$

Сила трения не зависит от площади соприкосновения тел.



Сила трения

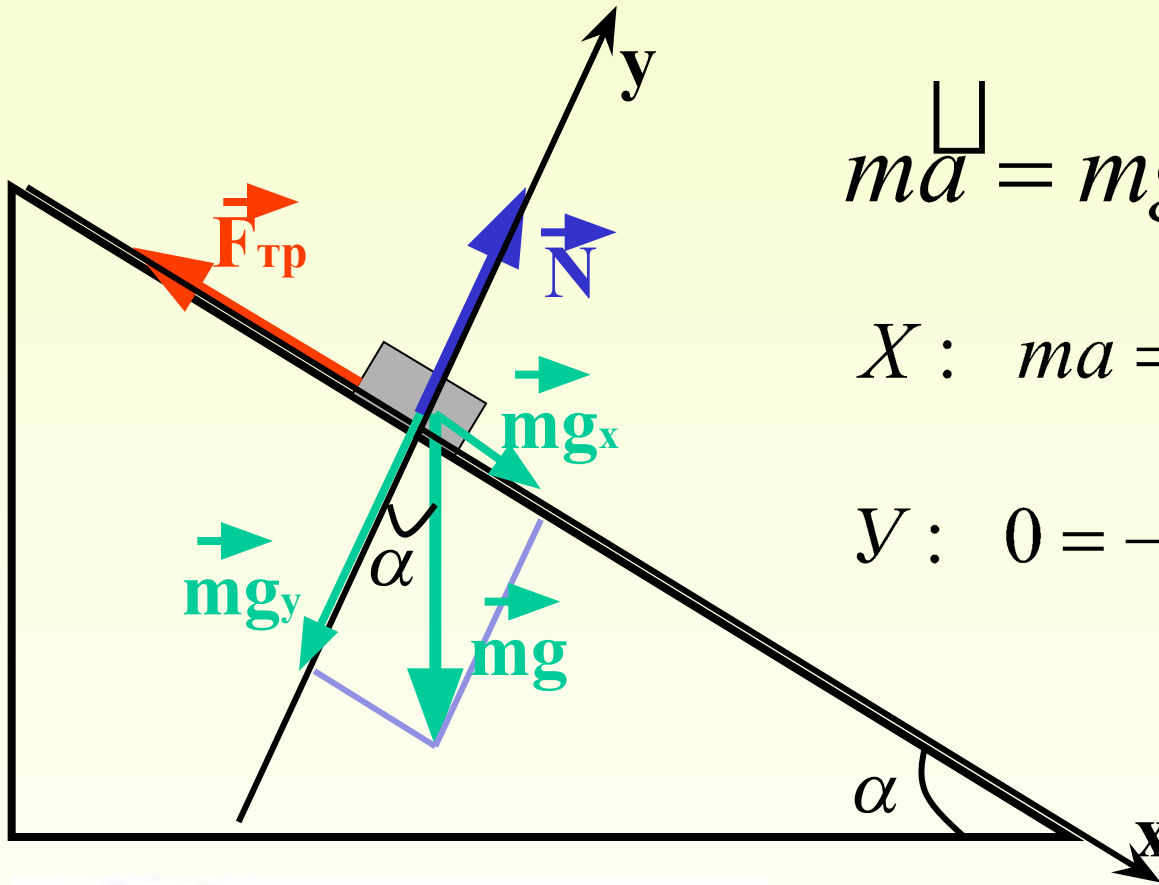
Сила трения скольжения всегда направлена противоположно направлению относительной скорости соприкасающихся тел.



$$F_{mp} \approx F_{mp.\max} = \mu N$$



Тело на наклонной плоскости



$$m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{mp} + \dots$$

$$X: ma = mg \sin \alpha - F_{mp} \pm \dots$$

$$Y: 0 = -mg \cos \alpha + N \pm \dots$$

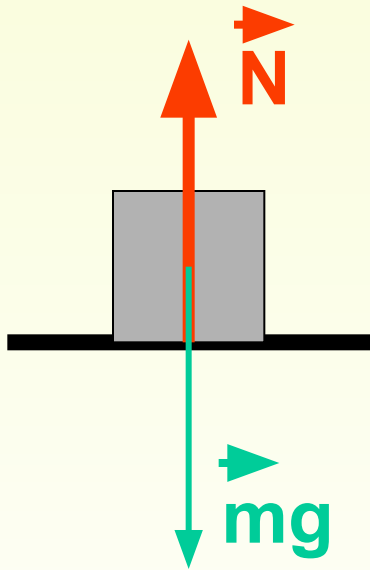
$$F_{mp} = \mu N$$



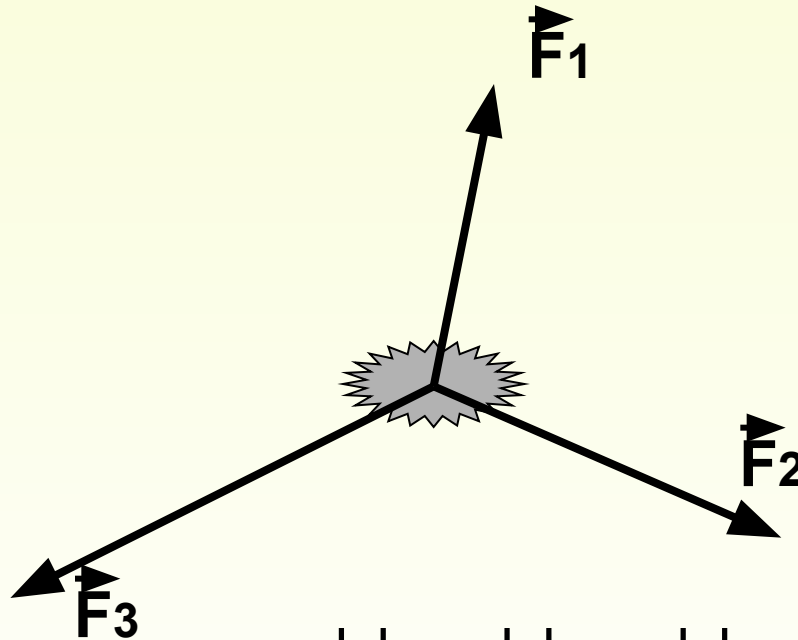
Статика

1 условие равновесия тела:

Векторная сумма всех внешних сил действующих на тело должна быть равна нулю.



$$\vec{N} + m\vec{g} = 0$$

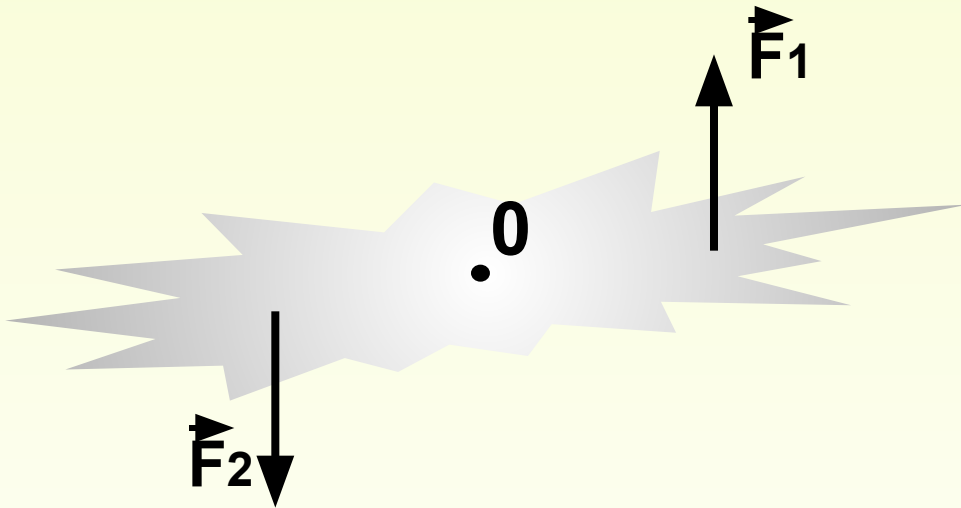


$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = 0$$



Статика

Если тело имеет ось вращения, то:



$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$$
$$F_1 + F_2 = 0$$

1 условия недостаточно

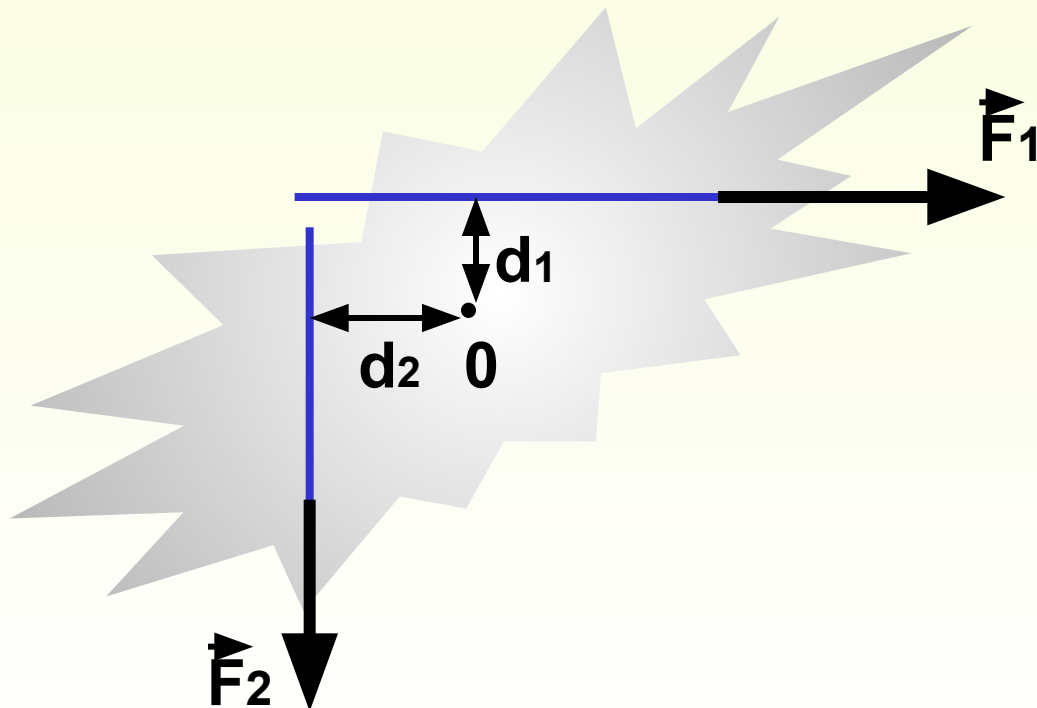


Статика

Момент силы – это величина, равная произведению модуля силы на плечо силы.

$$M = F \cdot d$$

$$[M] = H \cdot m$$

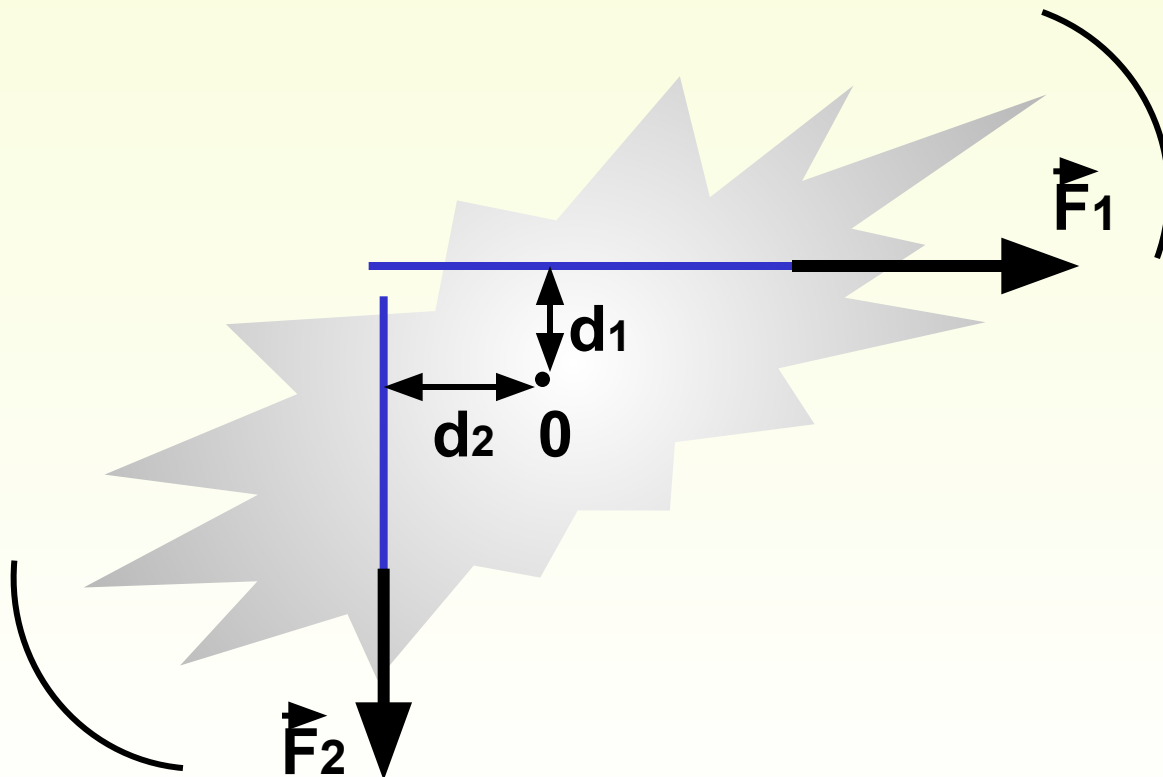


Плечо силы (d) – кратчайшее расстояние от линии действия силы до оси вращения.



Статика

Момент силы считается положительным, если сила вращает тело против часовой стрелки. Момент силы считается отрицательным, если сила вращает тело по часовой стрелке.



$$M_1 < 0$$

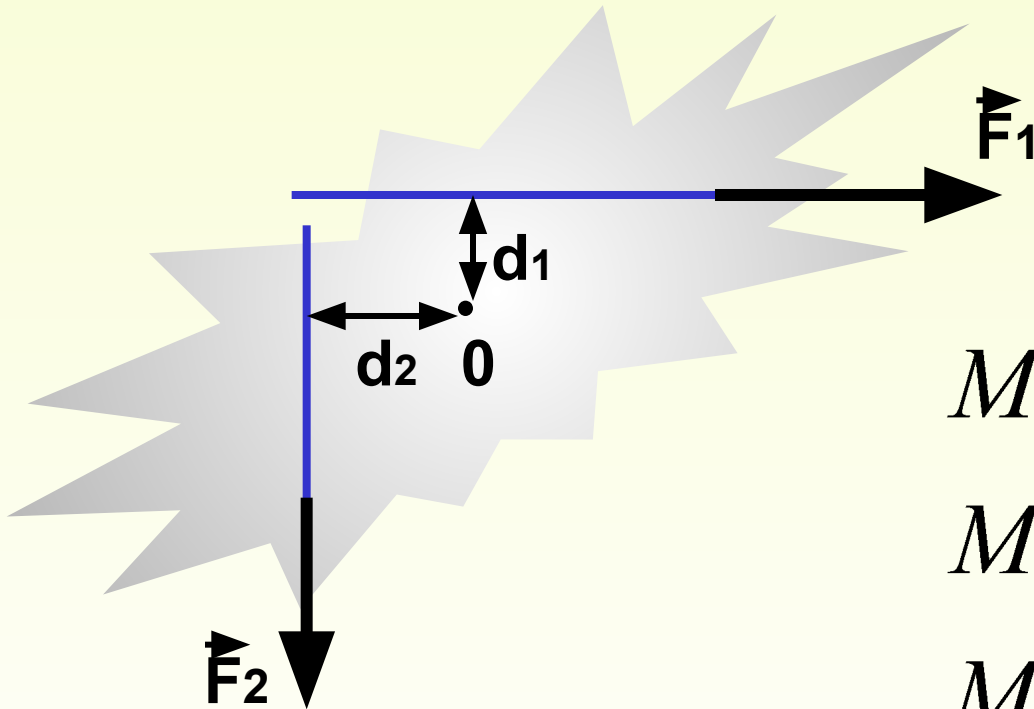
$$M_2 > 0$$



Статика

2 условие равновесия тела:

Сумма моментов сил действующих на тело должна быть равна нулю.



$$M_1 + M_2 = 0$$

$$M_1 < 0$$

$$M_2 > 0$$

$$-F_1 d_1 + F_2 d_2 = 0$$



Импульс

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

$$\vec{F}t = \vec{P} - \vec{P}_0$$

$$\vec{F}t = \Delta\vec{P}$$

$$\vec{a} = \frac{m(\vec{v} - \vec{v}_0)}{t}$$

$$\vec{F}t = m\vec{v} - m\vec{v}_0$$

$$[Ft] = H \cdot c$$

$$[P] = \frac{kg \cdot m}{c}$$

$\vec{F}t$ - импульс силы

$\vec{P} = m\vec{v}$ - импульс тела

$$H \cdot c = \frac{kg \cdot m}{c^2} \cdot c = \frac{kg \cdot m}{c}$$



Закон сохранения импульса

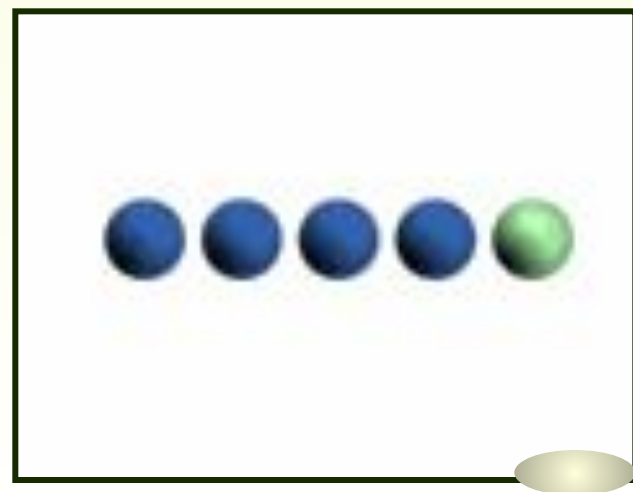
$$\vec{F}t = m\vec{v} - m\vec{v}_0$$

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$$

$$m_1\vec{v}_1 - m_1\vec{v}_{01} = -(m_2\vec{v}_2 - m_2\vec{v}_{02})$$

$$m_1\vec{v}_{01} + m_2\vec{v}_{02} = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2$$

$$\vec{P}_{01} + \vec{P}_{02} = \vec{P}_1 + \vec{P}_2$$



Закон сохранения импульса

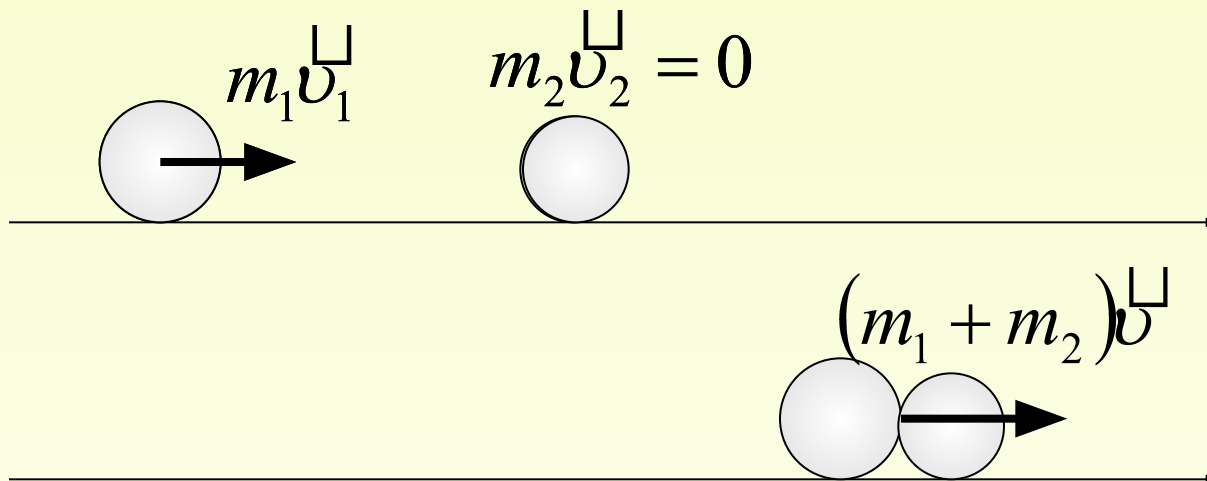
$$m_1 \vec{v}_{01} + m_2 \vec{v}_{02} = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2$$

$$\vec{P}_{01} + \vec{P}_{02} = \vec{P}_1 + \vec{P}_2$$

упругий удар



Закон сохранения импульса



$$m_1 v_{01} + m_2 v_{02} = m_1 v + m_2 v$$

$$m_1 v_{01} + m_2 v_{02} = (m_1 + m_2) v$$

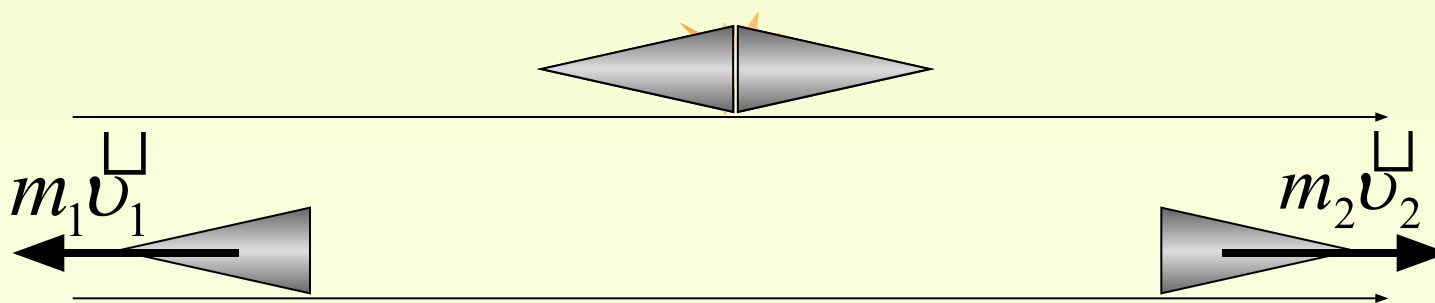
неупругий удар

$$P_{01} + P_{02} = P_1 + P_2$$

$$P_{01} + P_{02} = P$$



Закон сохранения импульса



Реактивное движение

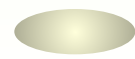
$$0 = \vec{P}_1 + \vec{P}_2$$

$$m_1 \vec{v}_{01} + m_2 \vec{v}_{02} = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2$$

$$0 = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2$$

$$m_1 \vec{v}_1 = -m_2 \vec{v}_2$$

$$m_1 v_1 = m_2 v_2$$



Закон сохранения импульса

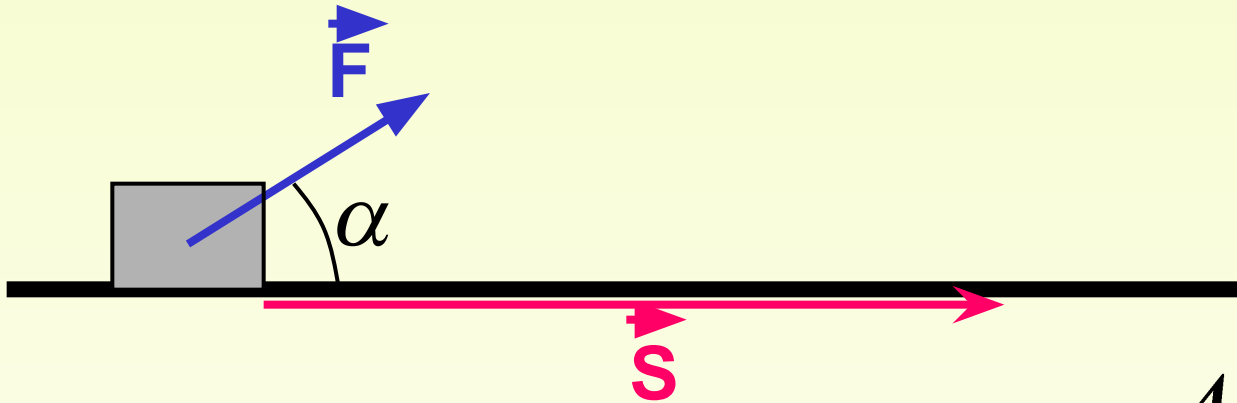


$$m_n v_n = (m_n + m_y) \cdot v$$

$$\frac{(m_n + m_y) \cdot v^2}{2} = (m_n + m_y) \cdot gh$$



Работа



$$A = FS \cos \alpha$$

$$[A] = \text{Дж}$$

$A = 0$, если

- $F = 0$

- $S = 0$

- $\cos \alpha = 0$ ($\alpha = 90^\circ$)



Мощность

$$N = \frac{A}{t}$$

$$[N] = \text{Вт}$$

$$A = FS \cos \alpha$$

$$N = \frac{FS \cos \alpha}{t} = \frac{Fv_{cp} \cos \alpha}{t}$$



Энергия

Если тело или система тел могут совершить работу, то говорят, что они обладают энергией.

Энергия

$$[E] = \text{Дж}$$

кинетическая

(энергия движения)

$$E_k = \frac{mv^2}{2}$$

потенциальная

(энергия взаимодействия)

**тело поднято
над
поверхностью
Земли**

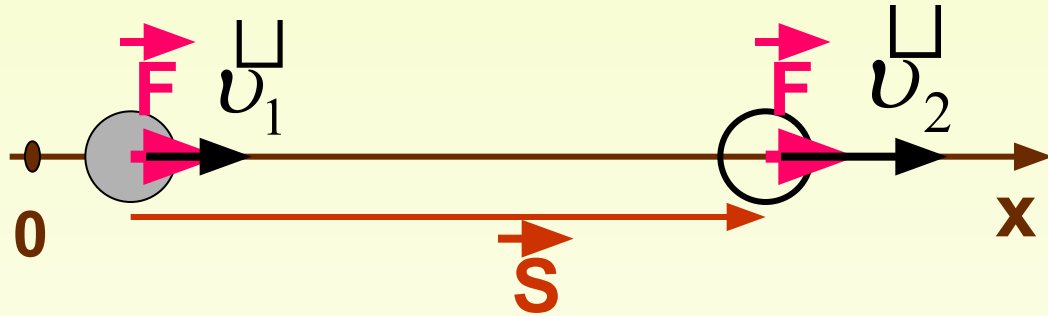
$$E_n = mgh$$

**тело
деформировано**

$$E_n = \frac{kx^2}{2}$$



Кинетическая энергия



$$A = FS \cos \alpha$$

$$F = ma$$

$$S = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2a}$$

$$\cos \alpha = 1$$

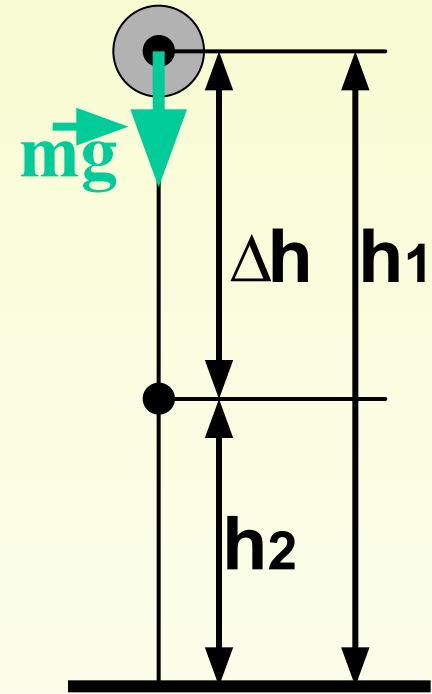
$$A = ma \frac{v_2^2 - v_1^2}{2a} = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2}$$

$$A = E_{k2} - E_{k1}$$

$$A = \Delta E_k$$



Потенциальная энергия



$$A = FS \cos \alpha$$

$$F = mg$$

$$S = \Delta h = h_1 - h_2$$

$$\cos \alpha = 1$$

$$A = mg(h_1 - h_2) = mgh_1 - mgh_2$$

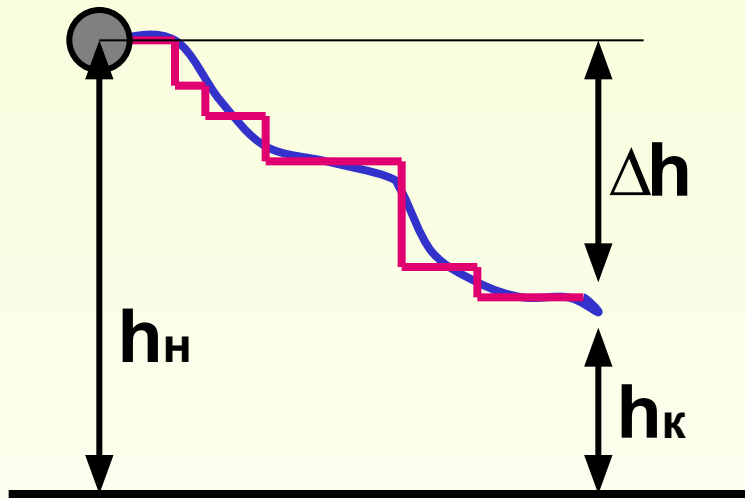
$$A = E_{n1} - E_{n2} = -(E_{n2} - E_{n1})$$

$$A = -\Delta E_n$$



Работа силы тяжести

Работа силы тяжести не зависит от траектории движения тела, а только от начального и конечного положения тела.



$$A = A_{гор} + A_{верт}$$

$$A = F \cdot S \cdot \cos \alpha$$

$$A_{гор} = mg \Delta x \cdot 0 = 0$$

$$A_{верт} = mg \cdot (h_1 + h_2 + \dots + h_n) \cdot 1$$

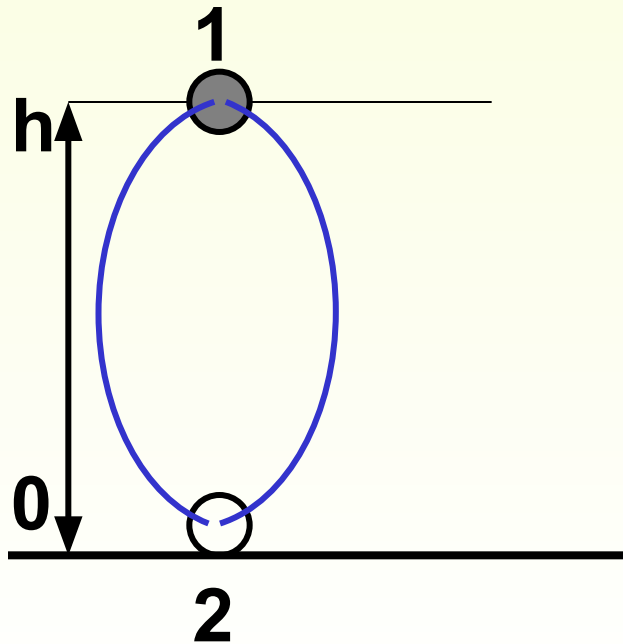
$$A_{верт} = mg \Delta h \quad \Delta h = h_1 + h_2 + \dots + h_n$$



Консервативные силы

Силы, работа которых не зависит от траектории называются консервативными. (Пример: сила тяжести).

Работа консервативной силы по замкнутому контуру равна нулю.



$$A_O = A_{12} + A_{21}$$

$$A_{12} > 0$$

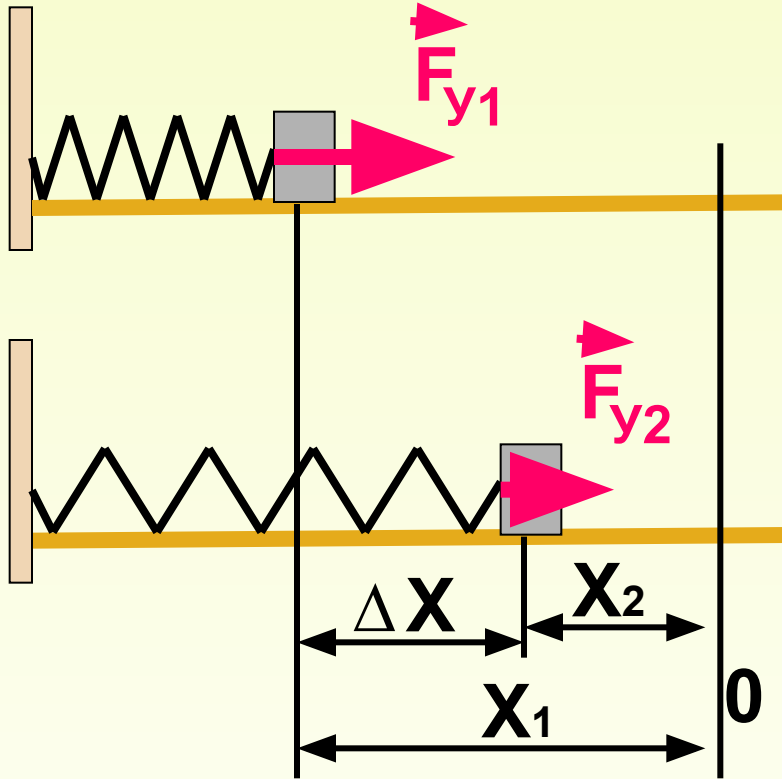
$$A_{21} < 0$$

$$A_{12} = -A_{21}$$

$$A_O = 0$$



Потенциальная энергия



$$F_{cp} = \frac{F_1 + F_2}{2} = \frac{k(x_1 + x_2)}{2}$$

$$A = \frac{k(x_1 + x_2)}{2} (x_1 - x_2)$$

$$A = \frac{k(x_1^2 - x_2^2)}{2} = \frac{kx_1^2}{2} - \frac{kx_2^2}{2}$$

$$A = E_{n1} - E_{n2} = -(E_{n2} - E_{n1})$$

$$A = -\Delta E_n$$

$$A = FS \cos \alpha$$

$$F = kx$$

$$S = \Delta x = x_1 - x_2$$

$$\cos \alpha = 1$$



Закон сохранения энергии

$$A = \Delta E_k$$

$$A = -\Delta E_n$$

$$\Delta E_k = -\Delta E_n$$

$$E_{k2} - E_{k1} = -(E_{n2} - E_{n1})$$

$$E_{k1} + E_{n1} = E_{k2} + E_{n2}$$

$$\sum E_{до} = \sum E_{после}$$

- закон сохранения энергии для замкнутой системы, в которой действуют только консервативные силы.



Закон сохранения энергии

Если присутствуют неконсервативные силы (например силы трения), то закон сохранения энергии имеет вид:

$$E_{k1} + E_{n1} = E_{k2} + E_{n2} + A_{тр}$$

$$\sum E_{до} = \sum E_{после} + A_{тр}$$

